

# **Analýza nouzového napájení ve vodárenských provozech**

Analysis of emergency supply in drinking water and wastewater treatment plants

**Bc. Vojtěch Muris**

Diplomová práce

prof. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.

Ostrava 2021

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Ing. Radomíru Goňovi Ph.D., za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vytvoření této diplomové práce.

## Abstrakt

V úvodní kapitole této diplomové práce je vysvětlena důležitost vody pro život obyvatel na planetě Zemi. V další části práce jsou rozebrány jednotlivé vodárenské procesy, které nám zabezpečují dostatek pitné vody a čištění námi znečištěné vody. Dále se seznámíme s kritickou infrastrukturou a blackoutem, který se stává stále reálnější hrozbou. Jsou zde popsána rizika, která hrozí v případě výpadku elektrické energie ve vodárenských procesech. V následujících kapitolách si popíšeme možnosti napájení elektrickou energií vodárenských zařízení, jak při běžném provozu, tak při výpadcích primárních zdrojů elektrické energie. V závěrečných kapitolách jsou návrhy možných řešení nouzového napájení, která by se mohla uplatnit ve vodárenských procesech.

**Klíčová slova:** Voda, elektřina, vodní hospodářství, kritická infrastruktura, blackout, čistírna odpadních vod, úprava vody, ostrovní provoz, nouzové napájení, dieselagregát, obnovitelné zdroje, malá vodní elektrárna, solární elektrárna, větrná elektrárna, kogenerační jednotka

## Abstract

The opening chapter of this thesis explains the importance of water for the life of the population on the planet Earth. In the next part of the thesis, individual water processes are examined, which provide us with enough drinking water and sewage treatment. Next, we will get acquainted with critical infrastructure and blackout, which is becoming an increasingly real threat. It describes the risks in the event of a power failure in water processes. In the following chapters, we will describe the possibilities of power supplying water equipment, both in normal operation and in case of outages of primary power sources. The final chapters contain a summary of all the information collected and a proposal for possible solutions that could be applied in water processes.

**Key words:** Water, electricity, water management, critical infrastructure, blackout, wastewater treatment plant, water treatment, island operation, emergency power supply, diesel generator, renewable energy sources, small hydroelectric power plant, solar power plant, wind power plant, cogeneration unit

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	6
Seznam obrázků .....	8
Seznam tabulek .....	10
1. Úvod .....	11
2. Voda a její význam.....	12
3. Vodní hospodářství .....	16
4. Úprava pitné vody .....	18
4.1. Postup úpravy vody.....	18
4.2. Energetická náročnost procesu úpravy vody .....	20
5. Čištění odpadní vody .....	23
5.1. Postup čištění odpadní vody .....	23
5.2. Energetická náročnost procesu čištění odpadní vody.....	25
5.3. Energetická náročnost vodovodní a kanalizační sítě .....	27
6. Kritická infrastruktura .....	28
6.1. Oblasti národní KI.....	28
6.2. Vodárenství jako kritická infrastruktura.....	30
7. Blackout.....	32
7.1. Definice blackoutu a jeho dopady na společnost .....	32
7.2. Příčiny vzniku blackoutu.....	33
7.3. Blackout v praxi .....	33
7.4. Blackout ve vodárenství .....	35
7.5. Návrh řešení blackoutu v ČOV.....	38
8. Současný stav energetiky vodárenských provozů .....	39

8.1.	Ostrovní provoz .....	39
8.2.	Nouzové napájení pomocí elektrocentrály .....	39
8.3.	Využití obnovitelných zdrojů ve vodárenství a při nouzovém napájení .....	42
8.3.1.	Napájení pomocí malých vodních elektráren .....	44
8.3.2.	Využití MVE v Severomoravských vodovodech a kanalizacích Ostrava .....	46
8.3.3.	Napájení pomocí kogeneračních jednotek.....	48
9.	Návrh možného nouzového napájení vodárenských provozů .....	51
9.1.	Napájení pomocí větrných elektráren.....	51
9.2.	Napájení pomocí solárních panelů .....	53
9.2.1.	Akumulační bateriové systémy .....	56
9.3.	Napájení pomocí palivových článků .....	56
9.4.	Akumulace vzduchu na ČOV do nového plynojemu .....	57
10.	Závěr .....	58
	Seznam použité literatury .....	59
	Seznam použitých ilustrací .....	63

## Seznam použitých symbolů a zkratek

### Symbole

CO		Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>		Oxid uhličitý
E	[kWh, MWh, GWh]	Elektrická energie
H <sub>2</sub>		Vodík
H <sub>2</sub> O		Voda
L	[m, mm, nm]	Délka
M	[kg]	Hmotnost
NO <sub>x</sub>		Oxidy dusíku
P	[kW, kWe, kWt, MW, Wp]	Výkon
P <sub>z</sub>	[MVA]	Zdánlivý výkon
Q <sub>v</sub>	[l/s]	Objemový průtok
S	[m <sup>2</sup> , ha]	Plocha
SO <sub>2</sub>		Oxid siřičitý
U	[kV]	Napětí
V	[m <sup>3</sup> ]	Objem

### Zkratky

ČEPS a.s.	Česká energetická přenosová soustava akciová společnost
ČEZ	České energetické závody
ČOV	Čistírny odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
EO	Ekvivalentní obyvatel
EU	Evropská unie
KI	Kritická infrastruktura
MSK	Moravskoslezský kraj
MVE	Malá vodní elektrárna
NGEST	Nouzové čištění odpadních vod v severní Gáze (Northern Gaza Emergency Sewage Treatment)
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OSN	Organizace spojených národů
OZE	Obnovitelné zdroje energie
SmVaK	Severomoravské vodovody a kanalizace
USA	United States of America (Spojené státy americké)
ÚV	Úpravna vody
VTE	Větrná elektrárna

WHO

*Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)*

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1. Koloběh vody [51]</i> .....	12
<i>Obr. 2. Únik znečištěné vody z opuštěného dolu [52]</i> .....	15
<i>Obr. 3. Ústřední čistírna odpadních vod v Ostravě - Přívoze [53]</i> .....	17
<i>Obr. 4. Schéma vodovodu [54]</i> .....	18
<i>Obr. 5. Schéma úpravy vody s dvoustupňovou separací [55]</i> .....	20
<i>Obr. 6. Spotřeba elektrické energie jednotlivých procesů v úpravě vody [12]</i> .....	22
<i>Obr. 7. Blokové schéma technologické linky ČOV [56]</i> .....	25
<i>Obr. 8. Spotřeba elektrické energie jednotlivých procesů v ČOV [57]</i> .....	25
<i>Obr. 9. Spotřeba elektrické energie v jednotlivých procesech v dané ČOV [12]</i> .....	26
<i>Obr. 10. Noční pohled na planetu Zemi z vesmíru [58]</i> .....	35
<i>Obr. 11 Schéma následků, příčin a nebezpečí ovlivňující vodohospodářství v případě blackoutu [59]</i> .....	36
<i>Obr. 12. Chemické složení výfukových plynů [29]</i> .....	40
<i>Obr. 13. Graf výroby elektrické energie ve státech OECD pro rok 2005 [60]</i> .....	42
<i>Obr. 14. Graf výroby elektrické energie ve státech OECD pro rok 2019 [60]</i> .....	42
<i>Obr. 15. Graf výroby elektrické energie v ČR v roce 2019 [62]</i> .....	43
<i>Obr. 16. Graf výroby elektrické energie v ČR v roce 2005 [61]</i> .....	43
<i>Obr. 17. Malá vodní elektrárna Spálov [63]</i> .....	44
<i>Obr. 18. Vhodné umístění regulačních armatur [64]</i> .....	45
<i>Obr. 19. Místa vhodná k umístění MVE [65]</i> .....	46
<i>Obr. 20. Vodní dílo Šance [66]</i> .....	47
<i>Obr. 21. Princip kogenerační jednotky [67]</i> .....	48
<i>Obr. 22. Saltend Wastewater Treatment Works [68]</i> .....	52
<i>Obr. 23. Atlantic County Utilities Authority Wastewater Treatment Facility [69]</i> .....	52



<i>Obr. 24. Letecký pohled na ČOV v Ostravě Přívoze [70].....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 25. Northern Gaza Emergency Sewage Treatment (NGEST) [71] .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 26. Princip palivového článku [72].....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 27. Plynojem s kapacitou 2 100 m<sup>3</sup> [73] .....</i>	<i>57</i>

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1.:</i> Přehled vlastností pitných vod [6].....	13
<i>Tab. 2.:</i> Metody úpravy vody pro jednotlivé kategorie surové vody [13].....	21
<i>Tab. 3.:</i> Zhodnocení energetické náročnosti úpravny vody pro rok 2019 vyjádřeno v kWh [12].....	22
<i>Tab. 4.:</i> Spotřeba elektrické energie v jednotlivých procesech za rok 2019 vyjádřená v kWh [12] .....	22
<i>Tab. 5.:</i> Zhodnocení energetické náročnosti čistírny odpadní vody pro rok 2019 vyjádřeno v kWh [12] .....	26
<i>Tab. 6.:</i> Spotřeba elektrické energie technologických celků ČOV v roce 2019 vyjádřená v kWh [12]..	26
<i>Tab. 7.:</i> Velké blackoutu v dějinách lidstva [23][24].....	34
<i>Tab. 8.:</i> Denní spotřeba čistírny odpadní vody v kWh za den [12] .....	38
<i>Tab. 9.:</i> Emise CO <sub>2</sub> při spalování různých druhů paliv [30].....	41
<i>Tab. 10.:</i> Elektrická autonomnost provozu [26].....	49
<i>Tab. 11.:</i> Průměrná doba slunečního svitu za rok [42].....	54

## 1. Úvod

Voda a elektrická energie jsou bezesporu základní stavební kameny moderní společnosti. Bez vody není možná existence života na Zemi a bez elektrické energie si už dnešní svět nedokážeme představit. Produkce pitné vody je v současné době přímo závislá na stabilní dodávce elektrické energie. Čištění odpadní vody, které nás chrání před ekologickou katastrofou, je také přímo závislé na dodávce elektrické energie. Lidstvo už zažilo několik blackoutů, které postihly milióny lidí. Riziko vzniku blackoutů, je z důvodu růstu světové populace a vzrůstající poptávce po elektrické energii reálnou každodenní hrozbou.

Cílem diplomové práce je zanalyzovat energetiku ve vodárenství a její připravenost na případný blackout. V dnešní době se snažíme snižovat uhlíkovou stopu a to nám právě vodárenství nabízí, díky své částečné energetické soběstačnosti využívaných obnovitelných zdrojů elektrické energie. Samotná práce se skládá z několika kapitol, v kterých se snažím přiblížit danou problematiku.

V druhé kapitole se věnuji vodě. Je zde popsána její důležitost a formy, v kterých ji my lidé zpracováváme.

V třetí kapitole se zabývám vodním hospodářstvím, primárně vodohospodářstvím Moravskoslezského kraje.

Ve čtvrté kapitole je vysvětlen princip úpravy pitné vody. Jsou zde popsány jednotlivé technologické postupy úpravy pitné vody a závěru kapitoly je energetická náročnost celého procesu úpravy.

Pátá kapitola se zabývá čištěním odpadní vody. V této kapitole je vysvětlen postup čištění odpadní vody a na konec je zde zhodnocení energetické náročnosti čistírny odpadní vody.

V šesté kapitole je popsán pojem kritická infrastruktura a její jednotlivá odvětví, podrobněji je zde rozebráno odvětví vodárenství.

Sedmá kapitola je věnována blackoutu. Obsahem jsou jeho příčiny a dopady na společnost. Také se zde můžeme dočíst o největších blackoutech v dějinách lidstva. Závěr této kapitoly je věnován samotnému blackoutu ve vodárenství a v jednotlivých vodárenských procesech.

V osmé kapitole se zabývám energetikou a nouzovým napájením ve vodárenství v současnosti. Dočteme se zde o dieselagregátech, ale také o obnovitelných zdrojích elektrické energie, které jsou v dnešní době nedílnou součástí pro vodárenské procesy.

Devátá kapitola je věnována energetice a nouzovému napájení ve vodárenství v budoucnosti. Tato kapitola obsahuje možné zapojení nových obnovitelných zdrojů elektrické energie do vodárenských provozů, které by mohly udělat tyto provozy ekologičtější, soběstačnější na elektrické energii a spolehlivější pro případný blackout.

V závěru se věnuji celkovému zhodnocení získaných informací.

## 2. Voda a její význam

Voda a vzduch tvoří základní podmínky pro život na naší planetě Zemi. Jelikož život na ní vznikl ve vodě zhruba před 4 miliardami let, jsou veškeré živé organismy odkázaný na její dostatečné množství. Lidské tělo je tvořeno ze 70 % vodou. Jestliže nedodáme našemu tělu potřebné tekutiny včas, je tato skutečnost smrtelná. Bez vody můžeme vydržet maximálně 4 dny až týden a poté umíráme na selhání jater. Pitná voda je základním prvkem pro moderní civilizaci a její rozvoj. V suchých oblastech, nebo v oblastech s nedostatkem kvalitní pitné vody je rozvoj moderní civilizace dosti omezen a v podstatě je nemožný. Podle studie OSN z roku 2017 nemá, až 2,1 miliard lidí přístup ke kvalitní pitné vodě. Do tohoto vysokého čísla se počítají i lidé, kteří musí pro vodu chodit i kilometry od bydliště, nebo tací kteří pijí vodu z jezer a potoků bez jakékoliv filtrace. Z 2,1 miliard lidí, ale nemá k dispozici ani takto omezené zdroje jaké byly uvedeny výše 844 miliónů lidí žijících na této planetě. Mezi cíli, které si dala WHO a OSN je, aby každý člověk na této planetě do roku 2030 měl přístup k pitné vodě a vlastní toaletě. [1][2]

Voda na planetě Zemi pokrývá 71 % jejího povrchu a vyskytuje se ve 3 skupenstvích: kapalném, plynném a pevném. 97 % této vody, je vodou slanou (moře a oceány) a pouhá 3 % jsou vodou sladkou. Z těchto 3 % jsou 2 % v ledovcích, což znamená, že o 1 % kapalně sladké vody, dalo by se tvrdit pitné vody, si dělí k roku 2020 7,8 miliard lidí. Za posledních 50 let spotřeba vody vzrostla 4 x, což v budoucnu bude znamenat velký problém. Počet lidí na planetě Zemi neustále roste a koloběh vody je neměnný. Proto by měla vyspělá část obyvatelstva planety směřovat své technologie a investovat své finance primárně do výzkumů ohledně odsolování moří, protože bez pitné vody lidstvo zanikne. Odsolování moří a oceánů je jednou z možných variant k získání pitné vody, jak už nám některé státy dokazují. [1][3]

Koloběhem vody je myšlen neustálý proces přeměny voda: na kapalinu (oceány, deště), plyn (vodní pára) a v pevné skupenství (sníh a led). K tomu to oběhu dochází působením sluneční energie a zemské gravitace. Voda se odpařuje z moří, oceánů, řek a všech ostatních vodních zdrojů i rostlin. Po kondenzaci páry, dopadá voda zpět na zemský povrch v podobě deště, nebo sněhu. 61 % dešťové vody se před dopadem odpaří, 16 % této vody stéká zpět do vodních toků a 23 % se vsákne do půdy. Člověk svým působením, ale do tohoto koloběhu zasahuje a negativně tím ovlivňuje vodní režim krajiny, což má za následek přívalové deště nebo záplavy. [3]



Obr. 1. Koloběh vody [51]

## Pitná voda

Pitná voda se získává úpravou surové vody v úpravně vody. Tato surová voda se v České republice získává buď z podzemních vod (45 %), z vod povrchových (55 %), nebo malé množství je srážková voda, která se zachycuje do jímek a retenčních nádrží. Z podzemních vod je možno vodu používat i bez předchozích úprav, což je u povrchové vody takřka nemyslitelné. K úpravě vody se používají metody chemické a fyzikální, které budou popsány v kapitole Úpravy vod. Pojem pitná voda nám vysvětluje vyhláška Ministra zdravotnictví č. 252/2004 Sb. Je to taková voda, „*kteřá je zdravotně nezávadná ani při trvalém požívání nevyvolá žádné onemocnění, nebo poruchy zdraví přítomnosti mikroorganismů, nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým či pozdním působením zdraví fyzických osob a jejich potomstva, jejíž smyslově postižitelné vlastnosti a jakost nebrání jejímu požívání a užívání pro hygienické potřeby fyzických osob*“ <sup>[4]</sup>. Pitná voda v České republice je velmi kvalitní, její případné zbarvení a pachuť je často zapříčiněním starého vodovodního potrubí, které nemá ve své podstatě, co s kvalitou vody společného. [5]

Dá se tvrdit, že za několikaleté pozorování spotřeba vody v České republice meziročně klesá. Je to zapříčiněno primárně úspornými spotřebiči, ale také nezanedbatelným meziročním nárůstem ceny za m<sup>3</sup> vody. Tenhle trend nárůstu ceny vody, by mohl vést k jejímu neplýtvání. Průměrná spotřeba vody na osobu v České republice byla 89 litrů, což při ceně 98,91 Kč je 8,80 Kč/osobu za den. [3][7]

**Pitnou vodu můžeme rozdělit podle různých zdrojů a způsobů úpravy podle této tabulky**

Tab. 1.: Přehled vlastností pitných vod [6]

	Pitná voda z veřejného vodovodu	Pitná voda balená	Přírodní minerální voda	Pramenitá voda balená	Kojenecká voda balená
Zdroj vody	povrchový i podzemní	povrchový i podzemní	podzemní	podzemní	podzemní
Chemická úprava	povolena	povolena	nepovolena, jen filtrace a provzdušnění	nepovolena, jen filtrace a provzdušnění	nepovolena
Dezinfekce	povolena	povolena	nepovolena	nepovolena	jen UV

Vodním zdrojem pro pitnou vodu primárně volíme tu podzemní, je u ní větší pravděpodobnost stálé kvality a jsou zde menší problémy s její úpravou. I přesto její nezávadnost musíme zkoumat rozborý (chemickými, fyzikálními, mikrobiologickými) a dlouhodobým pozorováním. V případě povrchové vody je v drtivé většině případů nutná její úprava. Její kvalita je velice kolísavá. Nejvhodnějším zdrojem z hlediska stálé kvality vody jsou zdroje z velkých údolních nádrží. Provozovatelé vodovodů musí zajistit, aby kvalita vody odpovídala zákonu č. 252/2004 Sb., která jim ukládá četnost rozborů v závislosti na počtu zásobovaných obyvatel. V normě jsou stanovené přesné požadavky na kvalitu pitné a teplé vody. [3][4]

## Rozdělení kvality povrchových vod [8]

Kvalitu povrchových vod nám udává norma ČSN 75 7221, která povrchovou vodu rozděluje do 5 tříd.

**I. třída – neznečištěná voda (světle modrá barva vody)** – takový stav vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností, při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí v tocích.

**II. třída – mírně znečištěná voda (tmavě modrá barva vody)** – takový stav vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého vyváženého a udržitelného ekosystému.

**III. třída – znečištěná voda (zelená barva vody)** – takový stav vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

**IV. třída – silně znečištěná voda (žlutá barva vody)** – takový stav vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému.

**V. třída – velmi silně znečištěná voda (červená barva vody)** – takový stav vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému.

## Odpadní voda

Odpadní voda je taková, jejíž kvalita byla zhoršena působením lidské činnosti. Taková voda pochází z domácností, škol, úřadů atd. (komunální odpadní voda) a z průmyslových podniků (průmyslová odpadní voda). Voda je znečištěna různými rozpuštěnými látkami, ale i nerozpuštěnými. Ukazateli odpadních vod jsou hodnoty pH, teplota, dusík, fosfor, kyanidy, uhlovodíky, arsen atd., tyto hodnoty se stanovují rozborů. V drtivé většině případů musí být odpadní voda před vypuštěním do přírody vyčištěna. Provozovatel se zavazuje, že voda bude vyčištěna těmi nejlepšími a nejúčinnějšími dostupnými technologiemi, aby riziko dalšího znečištění bylo co nejnižší. Na toto dohlíží vodoprávní úřad. [3]

Udává se, že člověk vyprodukuje stejný počet odpadní vody, jako spotřebuje té pitné, což znamená, že průměrný člověk vyprodukuje zhruba 100 litrů odpadní vody za den. Toto množství vody je nutno někde vyčistit a k tomu nám slouží čistírny odpadních vod (ČOV). Česká republika patří ke světové špičce, co se čistění odpadních vod týče. Většina větších aglomerací nad 2000 obyvatel má moderní čistírnu. V roce 2013 bylo u nás vyčištěno 78 % odpadních vod, ale ve světě je čištění odpadních vod velkým problémem, primárně v rozvojových zemích. V tomtéž roce bylo světově vyčištěno pouhých 20 % odpadních vod. [7]

## Druhy odpadních vod

**Splašková odpadní voda** – je to taková odpadní voda, která byla vypuštěna do veřejné kanalizace z bytů a domů. Dále sem patří odpadní vody z městské aglomerace, které mají podobný charakter, jako odpadní vody z domácností (školy, hotely, restaurace atd.) Někdy jsou taky nazývány, jako komunální odpadní vody. Jsou to směsi splaškových, průmyslových, srážkových a balastních vod, které vznikly v jedné městské kanalizaci. Balastní voda, je definována jako voda, která se dostala do systému stok netěsnostmi v potrubí. Je nežádoucí, protože zahluje odpadní potrubí a celkově zvyšuje objem vody, co bude muset ČOV zpracovat. Hlavní podíl znečišťujících látek ve splaškové vodě mají fekálie a moč, což tvoří až 80 % organických látek. Dále to jsou prací a čisticí prostředky a zbytky jídla. [9]

**Průmyslová odpadní voda** – je voda z průmyslové a zemědělské výroby. Patří zde i chladicí vody. Průmyslová odpadní voda má odlišný charakter než splašková odpadní voda. Jejich škodlivost se může velmi lišit. Podle látek, které obsahují, se dělí na převážně organicky znečištěné a převážně anorganicky znečištěné. [9]

**Organicky znečištěné** – jsou odpadní vody z potravinářských, textilních, papírenských závodů. Organické látky se mohou vyskytovat v rozpuštěném nebo nerozpuštěném stavu. U organicky znečištěných vod připadá v úvahu společné čištění se splaškovou odpadní vodou. [9]

**Anorganické znečištění** – jsou odpadní vody z těžby a úpravy uhlí a rud, sklářského, hutního a keramického průmyslu, výroby hnojiv a anorganické chemie. Znečišťující látky se mohou vyskytovat v rozpuštěném nebo nerozpuštěném stavu. Mohou patřit mezi látky toxické i netoxické. Anorganicky znečištěné vody se nemohou čistit zároveň se splašky. [9]

**Srážková odpadní voda** – složení srážkové vody je dáno kvalitou ovzduší na pro danou oblast. [9]



**Obr. 2.** Únik znečištěné vody z opuštěného dolu [52]

### 3. Vodní hospodářství

Vodní hospodářství je soubor činností, který se zabývá ochranou, využitím a rozvojem vodních zdrojů a ochranou před škodlivými účinky. Základem vodohospodářství je hydrologie, je to věda se zabývající se vodou ve všech skupenstvích a procesy, které s vodou souvisí. Vodohospodářská politika v České republice je přímo závislá na přírodních poměrech na našem území. V našich podnebních podmínkách jsme závislí zejména na atmosférických srážkách, které jsou v průběhu roku rozkolísány. K těmto výkyvům dochází i v průběhu let. V České republice je roční úhrn srážek na jedno obyvatele roven 1/3 evropského průměru a ve světovém měřítku je to pouhá 1/5. Kapacita našich vodních zdrojů již od 50. let 20. století nestačí potřebám v průmyslu, zemědělství a pro obyvatele. Z těchto důvodů je nutné se chovat racionálně a vodou neplýtvat. Je nutné plánovat využívání vodních zdrojů, hospodařit s vodou v povodích a ty odborně spravovat. Aby se alespoň přibrzdil, ne-li zastavil blížící se stav, kdy voda bude mít cenu zlata. Tento stav lidstvu reálně hrozí, pokud se nezačneme chovat zodpovědně. Vodohospodářství podléhá vodnímu právu, které je souborem norem pro ochranu vod a vodních ekosystémů. Vodním právem se předepisují podmínky hospodářského využití, stanovuje se zajištění bezpečnosti vodních děl a vytváří se takové podmínky, které by přispěly ke snižování negativních účinků sucha a povodní. V oblasti vodohospodářství zajišťuje statní správu vodoprávní úřad. [3]

#### Vodní hospodářství můžeme rozdělit do 4 bodů [3]

- **využití vod;** zde patří zásobování pitnou vodou, zásobování průmyslu a zemědělství, plavby a hydroenergetika. Cílem **využití vod** je zajistit individuální a společenské potřeby spojených s užíváním vody. Spadá zde například péče o povrchové vody a vodní toky nebo budování vodárenských soustav a ČOV.
- **ochrana voda;** zde patří ochrana zdrojů vody, čištění splašků a odpadních vod. Cílem **ochrany vod** je zajistit udržitelné podmínky pro užívání a ochranu vod a chránit tak životní prostředí a obyvatelstvo.
- **ochrana před nepříznivými účinky vod;** zde patří ochrana před povodněmi a suchem. Cílem této ochrany je budování protipovodňových děl, manipulace s vodními toky a úpravy hladiny vodních nádrží.
- **integrovaná ochrana všech složek životního prostředí včetně složky vodní**

#### Vodovody a kanalizace v Moravskoslezském kraji

V MSK jsou města a obce zásobovány pitnou vodou primárně z veřejných vodovodů. Až 99,9 % trvale bydlících obyvatel je napojených na tento rozvod. Zbývající část obyvatel využívá soukromých studní k zajištění pitné vody. Jedná se většinou o obyvatele z odlehlých částí, kteří nemají možnost napojení na veřejný vodovod. Pitná voda je dodávána občanům zejména Ostravským oblastním vodovodem, který je nejrozsáhlejší vodárenskou soustavou v České republice. Největší zdroje povrchové vody jsou vodní nádrž Kružberk v Jeseníkách a vodní nádrž Šance a Morávka v Beskydech. Mezi hlavní úpravy vody patří Podhradí, které má kapacitu 2700 l/s. Tato úprava je umístěna na Kružberském skupinovém



rozvodu. Další velkou úpravnou je úpravná pitné vody v Nové Vsi u Frýdlantu nad Ostravicí, která má kapacitu 2200 l/s a je zásobována z vodního díla Šance v Beskydech. A poslední velkou úpravnou je úpravná pitné vody ve Vyšních Lhotách s kapacitou 450 l/s, která je napájena z údolní nádrže Morávka v Beskydech. [10]

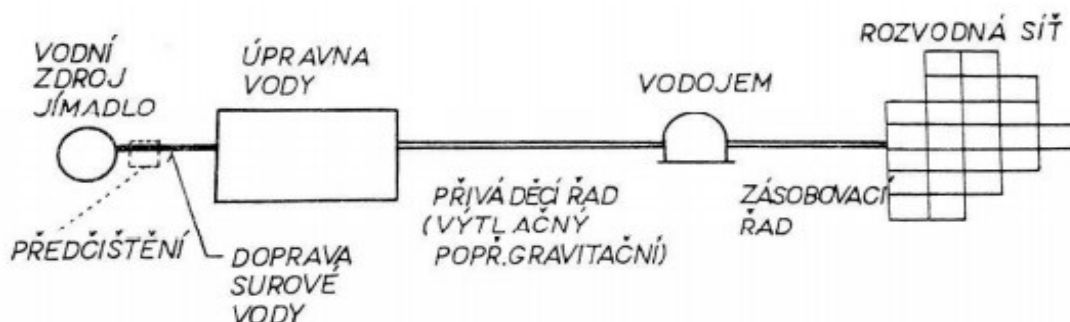
Většina obcí a městských částí s počtem obyvatel nad 2000 má vybudovanou veřejnou kanalizaci, který je vyvedena do ČOV. 83 % obyvatel kraje je napojených na veřejnou kanalizaci, na čistírnu poté 77,9 % obyvatel. V MSK je 16 čistíren odpadních vod, které mají kapacitu nad 10000 ekvivalentních obyvatel. Tyto čistírny zabezpečují čištění odpadní vody pro přibližně 900000 ekvivalentních obyvatel. Největší čistírnou je Ústřední čistírna v Ostravě - Přívoze. Za zmínku stojí například čistírny ve Frýdku - Místku, Opavě, Karviné nebo Třinci. V MSK se nachází více než 160 komunálních čistíren, které jsou rozmístěny v ostatních městech nebo menších obcích. [10]



**Obr. 3.** Ústřední čistírna odpadních vod v Ostravě - Přívoze [53]

## 4. Úprava pitné vody

Čím je surová voda kvalitnější tím méně úprav vyžaduje. Za úpravu vody je považován proces, který umožňuje vodu používat k pitným účelům, výrobním nebo k průmyslovým. Jaké má pitná voda vlastnosti, upravuje zákon Ministra zdravotnictví č. 252/2004 Sb., který byl popsán výše. Pro úpravu vody se používá povrchová, podzemní a ve výjimečných případech voda srážková. Složení vody a její stav poté dále určuje, která z metod bude při úpravě užitá. Mezi jednotlivé úpravy vody patří tyto způsoby: mechanický, chemický, fyzikálně-chemický a biologický. [11]



Obr. 4. Schéma vodovodu [54]

**Mechanický způsob** – Tento způsob se používá primárně k úpravě povrchových vod. Slouží k odstranění hrubých nečistot, které by mohly poškodit čerpací zařízení a zanést potrubní systémy. Patří zde síta, lapáky písku, česle a usazovací nádrže. [11]

**Chemické způsoby** – Tento způsob se používá primárně při úpravě podzemních vod. Tímto způsobem se odstraňuje: oxid uhličitý, hořčík, mangan, železo, fluorid, vápník atd. Chemické způsoby jsou založeny na neutralizaci, srážení nebo oxidaci vzdušným kyslíkem, případně silnými oxidačními činidly, kterými jsou chlór, ozon, peroxid vodíku atd. [11]

**Fyzikálně – chemický způsob** – Tento způsob úpravy se užívá k odstranění nerozpuštěných a koloidně dispergovaných látek z vody (koagulace, flotace) k odbarvování, deionizaci a demineralizaci vody (iontová výměna, ultrafiltrace, nanofiltrace). Také se užívá k odstranění rozpuštěných plynů (desorpce vzduchem). [11]

**Biologické způsoby** – Tento způsob úpravy se uplatňuje při odželezování a odmanganování vody pomalou filtrací, desulfatací a denitrifikací. [11]

### 4.1. Postup úpravy vody

**Mechanické předčištění surové vody** – zbavuje surovou vodu hrubých nečistot a dalších nerozpuštěných látek. Používá se primárně při úpravě povrchových vod. Tímto procesem se chrání čerpací zařízení před poškozením a potrubí včetně ostatního zařízení se chrání před zanášením. Před znečištěním se chrání zařízení těmito objekty: hrubé česle, střední česle, jemné česle, rotační síta a mikrosíta, lapáky písku a usazovací nádrže. [11]

**Číření** – nebo také koagulace je nejčastějším způsobem úpravy povrchové vody. V čířicích dochází k odstranění jemných suspenzí a koloidních částic (částice 1 nm – 1000 nm) z vody. Při tomto procesu se přidávají hydrolyzující soli, které reakcí s vodou tvoří hydroxidy. Z této reakce vznikají tzv. vločky, které se shlukují do vločkového mraku, které lze sedimentací nebo filtrací separovat. [11]

**Filtrace** – tento technologický proces je nejpoužívanějším procesem ve vodárenství, jak pro povrchové, tak pro podzemní zdroje vody. Upravovaná voda protéká zrnitým nebo porézním materiálem. V tomto filtru dochází k zachycování částic nerozpuštěných látek. [11]

**Preoxidace** – je to proces, kterým se označuje přidáním oxidačního činidla k surové vodě před její další úpravou. Jedná se o fyzikálně-chemickou úpravu nebo jen chemickou. Při této úpravě dochází k oxidaci anorganických a organických látek ve vodě. [11]

**Dezinfekce vody** – při úpravě vody se užívá dvojí dezinfekce, primární a sekundární. Primární je v podstatě součástí procesu úpravy pitné vody a sekundární se používá k hygienickému zabezpečení pitné vody v distribuční síti. Dezinfekce se používá při úpravě povrchových i podzemních vod. Má za úkol zneškodnit bakterie a viry, který by mohly negativně ovlivnit kvalitu vody. [11]

**Adsorpce** – jedná se o zachycování plynů, par a rozpuštěných látek na povrchu pevných látek. Z vody lze tímto způsobem odstranit organické látky, pach nebo zbarvení. K adsorpci je využíváno aktivní uhlí nebo jiné sorpční materiály. [11]

**Odkyselování** – je to proces při, kterém se odstraňuje z vody oxid uhličitý. Voda, která má vysoký obsah oxidu uhličitého působí velmi agresivně na konstrukce, armatury a potrubí. Může se provádět mechanicky, rozstříkem nebo chemicky. [11]

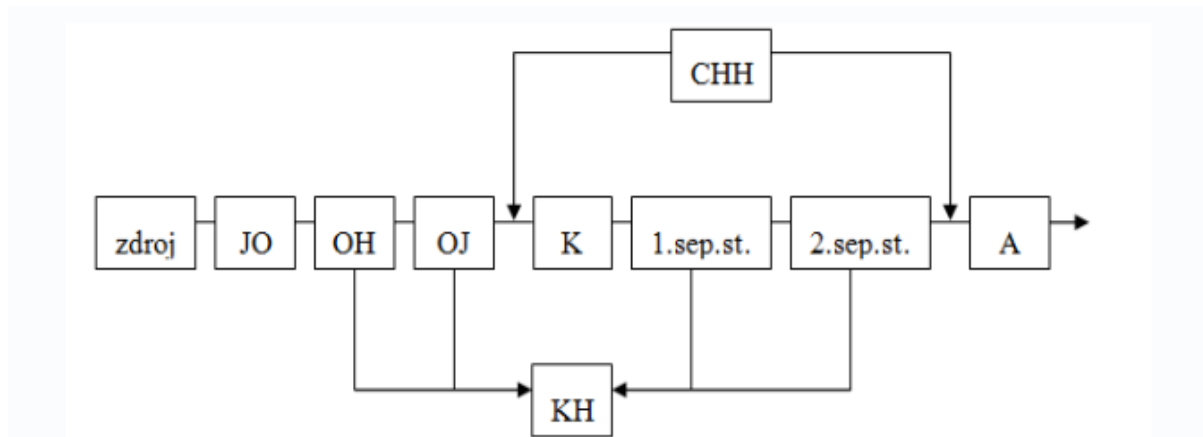
**Odželezování a odmanganování** – tento způsob závisí na tom, v jaké formě se ve vodě železo a mangan vyskytují. Železo může být ve vodě jako dvojmocný prvek, obvykle v iontové formě, nebo jako hydroxid železitý, což je jeho trojmocná podoba. Mangan se vyskytuje většinou společně se železem jako dvojmocný prvek, někdy v povrchových vodách, jako čtyřmocný. Tento způsob úpravy se provádí (provzdušňováním, alkalizací, ozónem nebo chlórem). [11]

**Ostatní způsoby úpravy-stabilizace** – užívá se, pokud voda určená pro obyvatelstvo se vyznačuje nízkým obsahem vápníku a hořčíku. Musí se zvýšit její pH, tvrdost a solnost. [11]

**-flotace** – je to fyzikální děj, při kterém dochází k vynášení pevných, v kapalině suspendovaných částic mikro bublinami plynu k hladině. Na hladině se poté tvoří stabilní kompaktní vrstva zahuštěných suspendovaných částic. [11]

**-fluorizace** – od 50 let 20. století se v České republice přidával fluor do pitné vody z důvodu zlepšení kvality zubů. Postupně se začalo od této úpravy odstupovat, protože se začal fluor přidávat do dentální hygieny. Velký přísun fluoru pro člověka, se stával spíše škodlivým. [11]

Během úpravy dochází ještě k dalším úpravám vody, hlavně k odstraňování přebytečných látek. Ale tyto procesy jsou specifické pro jednotlivé úpravní vod v závislosti na složení vody.



**Obr. 5.** Schéma úpravní vody s dvoustupňovou separací [55]

**Vysvětlivky:** ZDROJ - zdroj pitné vody, JO - jímací objekt, OH - odlučovač hrubých částic, OJ - odlučovač jemných částic, K - koagulace, flokulace, CHH - chemické hospodářství, KH - kalové hospodářství, A - akumulace

Poté takhle upravená voda odtéká do vodojemu. Vodojem slouží pro akumulaci vody, vyrovnává rozdíly mezi přítoky a odtoky ke spotřebitelům. Dále zajišťuje nepostradatelný tlak ve vodovodní síti a dokáže zabezpečit dostatek vody v případě požáru. V rovinatých oblastech se staví vodojemy věžové, jinak se budují jako nadzemní nebo podzemní. [3]

Celý tento složitý proces si vyžaduje obrovské množství elektrické energie. Když pomineme samotnou úpravu vody, je na trase vody k této úpravě obrovské množství čerpadel, totéž platí i o čerpadlech, které vedou potrubím vodu ke spotřebiteli. V České republice bylo k roku 2017 odkázáno na hromadný vodovodní systém 95 % obyvatelstva. Při výpadku elektrické energie existují scénáře, které nám zajistí dodávku pitné vody, ale tyto scénáře jsou krátkodobého charakteru. Budou popsány v kapitolách níže.

## 4.2. Energetická náročnost procesu úpravy vody

Proces úpravy vody je energeticky náročný. Energetickou náročnost ovlivňuje velké množství aspektů. Nejpodstatnějším je doprava surové vody do úpravní vody. Vodu je možno získávat čerpáním z vrtů, samospádem nebo přečerpáváním. Nejvíce energeticky náročný způsob, je čerpání vody z vrtu. Samotné čerpadla tvoří v úpravnách vody hlavní podíl na spotřebě elektrické energie. Nejedná se jen o čerpadla na přívodu surové vody, ale také o čerpadla v samotném procesu úpravy vody. Dalším důležitým aspektem je kvalita surové vody, čím je surová voda kvalitnější a vyžaduje méně náročné procesy úpravy, tak klesá energetická náročnost na m<sup>3</sup> vyrobené vody.

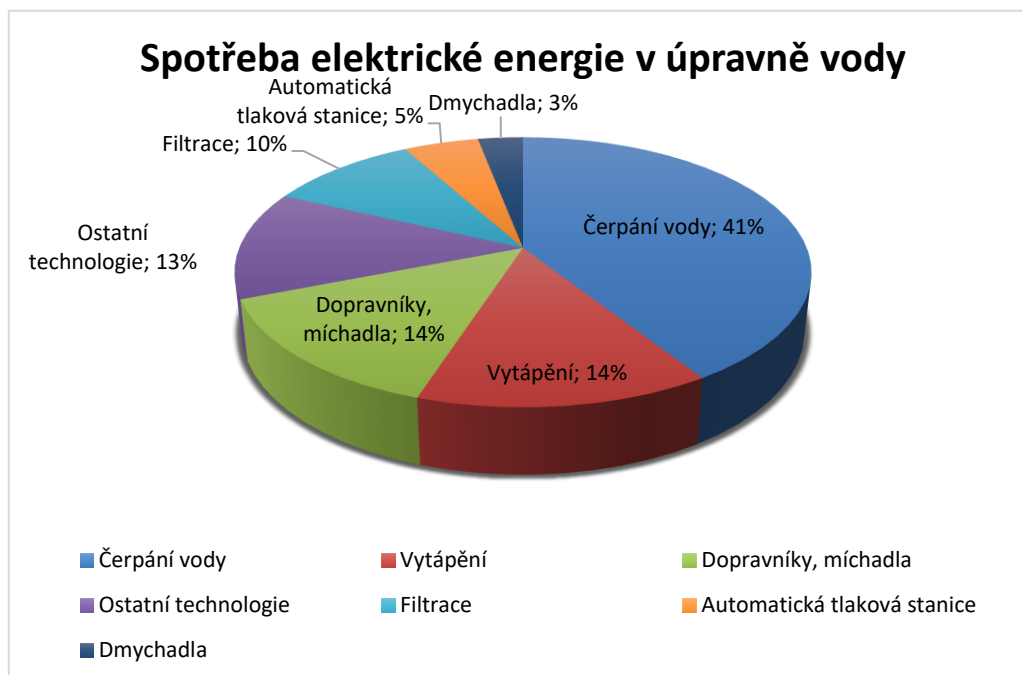
Energetická náročnost v úpravnách vody se v České republice pohybuje mezi 0,04 – 0,1 kWh/m<sup>3</sup> vyrobené pitné vody. Tato hodnota přímo závisí na aspektech a procesech úpravy vody. [12]

Tab. 2.: Metody úpravy vody pro jednotlivé kategorie surové vody [13]

Kategorie surové vody	Typy úprav
<b>A1</b>	Úprava surové vody s případnou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plyných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
<b>A2</b>	Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
<b>A3</b>	Úprava surové vody vyžaduje dvou či víceetapovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinaci. Dalšími vhodnými procesy jsou například využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (například sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.
<b>vyšší než A3</b>	Podle § 13 odst. 2 zákona lze vodu této jakosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.

V tabulce Tab. 2., jsou popsány jednotlivé druhy surové vody určené pro úpravu vody. S vyšším číslem kategorie roste i energetická náročnost na úpravu  $\text{m}^3$  vody. Dalo by se říct, že mezi kategorií A1 a A3 je nárůst až o 50 % spotřeby elektrické energie na 1  $\text{m}^3$  upravené vody. [14]

Na obrázku Obr. 6. je graficky znázorněn ukázkový příklad, jak může vypadat přerozdělení spotřeby elektrické energie mezi jednotlivé procesy úpravy vody.



**Obr. 6.** Spotřeba elektrické energie jednotlivých procesů v úpravě vody [12]

Pro zhodnocení energetické náročnosti nám poslouží úpravna vody s kapacitou 2700 l/s (ve skutečnosti se pohybuje výroba okolo 50 % z celkové kapacity). Tato úpravna vody má na přivaděči surové vody z vodní nádrže instalovanou MVE s výkonem 348 kW. [12]

**Tab. 3.:** Zhodnocení energetické náročnosti úpravy vody pro rok 2019 vyjádřeno v kWh [12]

Vyrobena elektrická energie v MVE určená k vlastní spotřebě ÚV	Elektrická energie nakoupená ze sítě	Celková spotřeba areálu ÚV
1 214 222	240 932	1 455 154

Z tabulky Tab. 3. je patrné, že popisovaná úprava vody je **zhruba z 85 %** soběstačná díky MVE elektrárně, která je umístěna na přivaděči surové vody.

**Tab. 4.:** Spotřeba elektrické energie v jednotlivých procesech za rok 2019 vyjádřená v kWh [12]

Spotřeba přečerpávací stanice v kWh	Spotřeba ÚV v kWh	Spotřeba na ostatní účely v kWh	Celková spotřeba areálu ÚV v kWh
721 756	721 756	11 641	1 455 154

Tabulka Tab. 4. nám ukazuje, že spotřeba elektrické energie na této úpravě vody byla v podstatě rozdělena 50/50 mezi čerpání surové vody a jednotlivé procesy úpravy vody. Spotřeba na ostatní účely udává například spotřebu administrativní budovy. Při kapacitě úpravy vody 1350 l/s je spotřeba elektrické energie **0,035 kWh na 1 m<sup>3</sup>** vyrobené pitné vody. [12]

## 5. Čištění odpadní vody

O odpadních vodách se můžeme dočíst v kapitole výše. Tato kapitola pojednává o samotném procesu čištění odpadní vody v ČOV. Jak jsme se dočetli, u odpadních vod se velmi liší jejich složení, které je závislé na jejich znečištění. Jiný proces čištění bude mít splašková voda z městské aglomerace a jiný například průmyslový závod na výrobu chemikálií. Pro každou ČOV je důležité zjistit, fyzické, chemické, biologické a bakteriální vlastnosti odpadní vody, aby se těmto rozborům mohl uzpůsobit celý proces čištění. Po těchto rozbořech se určuje celkový čistící proces, který musí splňovat základní požadavky na účinnost, spotřebu el. energie a celkovou finanční náročnost. Upravená voda se poté vypouští zpět do řek a vodních toků.

### 5.1. Postup čištění odpadní vody

**Mechanický stupeň čištění** – tento způsob úpravy vody obsahuje dva pod stupně, je jím hrubé předčištění a primární čištění.

**Hrubé předčištění** - má primární funkci, a to ochranu samotného vybavení čistírny odpadních vod. Odpadní voda, která je přiváděna kanalizací může obsahovat hrubé nečistoty, které by mohly mechanicky poškodit vybavení ČOV. Takovou ochranou jsou například lapáky šterku. Jsou umístěny před čistírnou a mají za úkol odstranit velké a těžké předměty, jako jsou například kusy cihel a šterk. Za lapákem šterku jsou umístěny česle, které jsou určeny k zachycení plovoucího odpadu, jako jsou hadry, papíry, listí atd. Česle se rozdělují na hrubé (60 mm) a jemné (40 mm) podle šířky mezi česlicemi. Česlice jsou ocelové pruty, které jsou zasazeny do pevného rámu. Věci zachycené česlemi se shrabují pomocí hrabel nebo strojním stíráním. Následuje lapač písku, který je často spojený s lapačem tuků. Jeho úkolem je oddělit písek od organických nerozpuštěných látek, ty organické je vhodné pro další procesy ve vodě ponechat. Oddělení se děje na základě rozdílných hustot materiálů, využívá se buď odstředivá, nebo gravitační síla. Tím, že se odstraňuje písek, se zabráňuje jeho usazování na nevhodných místech a snižuje se obrušování ostatního zařízení. [3]



**Primární čištění** – je to proces, kdy se v usazovacích nádržích usazují jemné ve vodě nerozpuštěné látky. V těchto nádržích se odstraňují i plovoucí nečistoty. Odpadu, který vzniká v usazovacích nádržích, se říká surový kal, který dále zpracovává kalové hospodářství. [3]

**Biologické stupně čištění** – podstatou tohoto stupně čištění jsou biochemické oxidačně-redukční reakce. Patří zde aerobní metoda a anaerobní metoda.

**Aerobní metoda** – po mechanickém vyčištění voda vstupuje do tohoto stupně úpravy. Tento způsob úpravy pracuje na principu aerobních bakterií, které svou činností metabolismu odbourávají až 99 % organického znečištění. Mezi hlavní procesy tohoto stupně úpravy patří mineralizace, pomocí které se odbourávají uhlíkaté organické látky za vzniku  $\text{CO}_2$  a vody. Mineralizace má ještě jednu část a tou je amonifikace, při které dochází k odbourávání dusíkatých organických látek na amonný iont.

Dalšími procesy jsou detoxikace, imobilizace a nitrifikace. Takto zpracovaná voda pokračuje do 2. sedimentace, v které vzniká čistá voda a aktivovaný kal. Biologické čištění probíhá v tzv. biologickém reaktoru. V tomto reaktoru je znečištění odstraňováno pomocí mikroorganismů (aktivovaný kal). Tento kal je schopen odstranit z vody velké množství organického znečištění i sloučeniny fosforu a dusíku. Voda společně s aktivovaným kalem poté teče do dosazovací nádrže, kde v důsledku sedimentace dochází k oddělení vyčištěné vody od aktivovaného kalu. Přebytkové množství tohoto kalu je zpracováno v kalovém hospodářství a jeho potřebná část je odváděna zpět do biologického reaktoru. [10]

**Anaerobní metoda** – tato metoda čištění, je založena stejně jako metoda aerobní na stabilizaci kalů. Je to proces několika dějů, kdy kultura mikroorganismů rozkládá organickou hmotu bez přísunu vzduchu. Anaerobní rozklad je složen z několika na sebe navazujících procesů. Jedná se o celkový proces, v kterém produkt první skupiny se stává substrátem skupiny na druhé a takhle děj pokračuje. Anaerobní metoda má 4 fáze, které mají minimálně devět metabolických fází, rozlišených podle skupin bakterií. Jsou to fáze: hydrolýza → acidogeneze → oxidace látek → methanogeneze. Produkty tohoto procesu jsou oxid uhličitý, biomasa, metan, vodík, dusík, síra a nerozložené zbytky organické hmoty. Oproti předešlé metodě má tato metoda řadu výhod, jako jsou například: nižší spotřeba el. energie, nižší produkce biomasy, což vlastně znamená celkově nižší náklady na zpracování přebytkového kalu. Nevýhodou poté může být vyšší koncentrace organických látek na odtoku. [11]



**Terciální čištění** – tato část čištění odpadní vody slouží k odstranění fosforu, k hygienizaci vody a odstranění nerozpuštěných látek. [3]

Výše zmíněný způsob čištění odpadní vody od mechanického předčištění až po terciální čištění se nazývá intenzivní způsob čištění odpadní vody, ale je také způsob extenzivní, který vyžaduje stejně jako intenzivní mechanické předčištění, ale je zde kladen důraz na jednoduchost obsluhy a energetickou nenáročnost. Mezi takové způsoby patří **biologické nádrže**, které se budují v terenních prohlubinách, kterými můžou být i rybníky. Čistí se zde především splašková voda. Dalším způsobem jsou **zemní filtry**, které jako filtrační náplň využívají písek nebo štěrk. Takový filtr poté odbourává organické znečištění mikrobiálním nárůstem žijícím na povrchu filtru. Zemní filtry se užívají především v domovních zařízeních. Posledním extenzivním způsobem čištění odpadní vody jsou **kořenové čistírny**, které využívají ke své funkci mokřady. Proces je založen na sedimentaci, filtraci, srážení sloučenin, adsorpci a rozkladu méně stabilních látek. Tyto čistírny jsou velmi náročné na plochu, ale jejich vzhled zapadá do krajiny a jsou odolné vůči povodním. [11]



**Vysvětlivky:**

LŠ - lapač štěrku

Č - česle

LP - lapač písku

UN - usazovací nádrž

BR - biologický reaktor

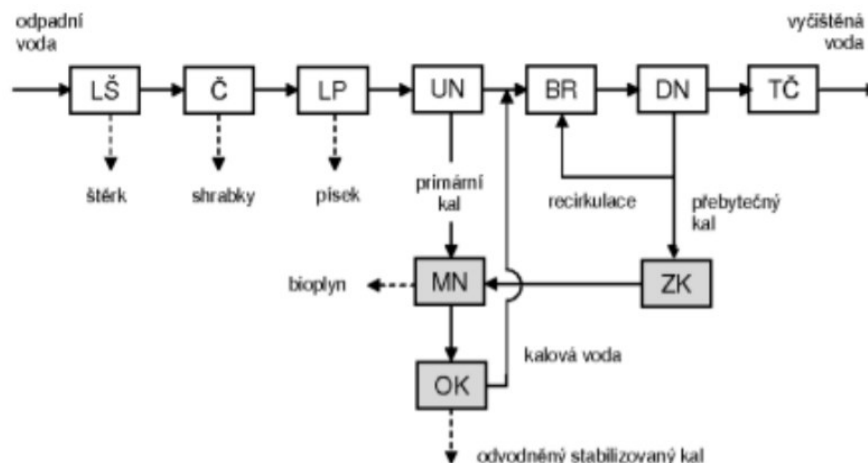
DN - dosazovací nádrž

TČ - terciální čištění

ZK - zahušťování kalu

MN - methanizační nádrž

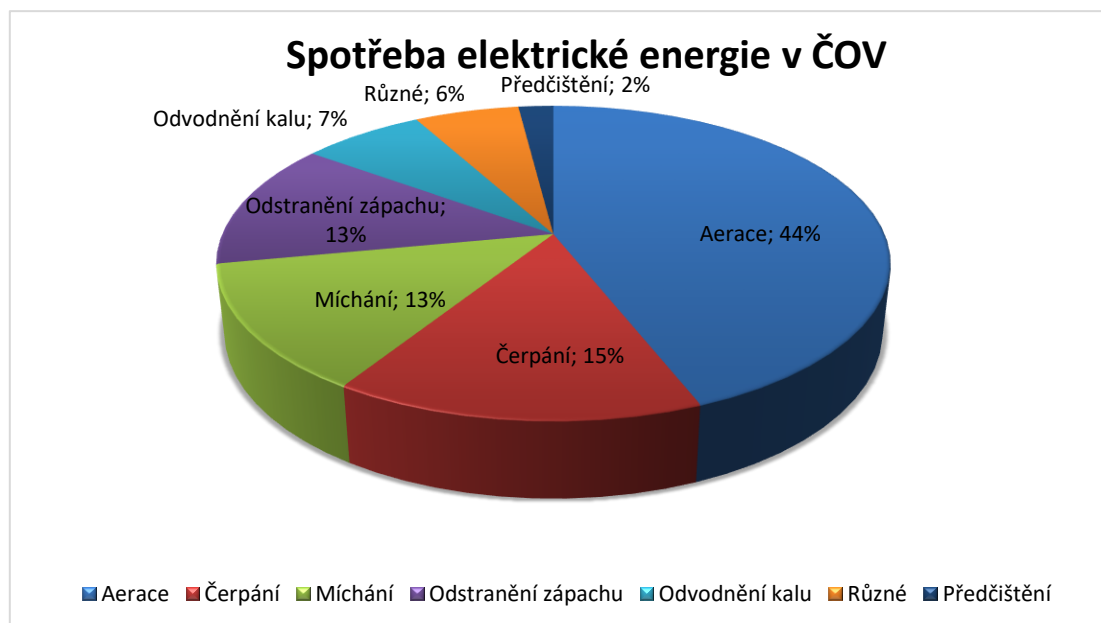
OK - odvodňování kalu



Obr. 7. Blokové schéma technologické linky ČOV [56]

**5.2. Energetická náročnost procesu čištění odpadní vody**

Stejně jako v případě úpraven vod i čistírny jsou velice energeticky náročné na svůj provoz. Dalo by se říci, že ČOV se skládá z 3 hlavních technologických procesů (mechanické čištění, biologické čištění, kalové hospodářství). V mechanickém čištění je jedním ze základních a energetických náročných prvků **vstupní čerpačka**, která dostane odpadní vodu do výšky, aby pak mohla celým procesem tato odpadní voda protékat gravitačně. Biologické čištění je nejdůležitější a energeticky nejnáročnější částí ČOV, dochází zde k **provzdušňování** aktivačních nádrží pomocí dmychadel. Kalové hospodářství se zabývá **zpracováním kalu**. Energetická náročnost čistíren odpadních vod v České republice se pohybuje mezi 0,3 – 0,8 kWh/m<sup>3</sup> vyčištěné vody. Tato energetická náročnost se liší podle velikosti čistíren odpadních vod a míry znečištění odpadní vody. [12]



Obr. 8. Spotřeba elektrické energie jednotlivých procesů v ČOV [57]

Na obrázku Obr. 8. můžeme vidět grafické znázornění spotřeby elektrické energie v čistírnách odpadních vod. Graf je všeobecný a podrobnější zhodnocení se nachází níže.

Pro energetické zhodnocení nám poslouží čistírna odpadních vod, která je projektována na 164 466 EO a dokáže vyčistit za den 40 450 m<sup>3</sup> odpadní vody. Ve skutečnosti se ČOV provozuje na 55 – 60 % ekvivalentních obyvatel a ročně dokáže vyčistit 8 500 000 m<sup>3</sup> odpadní vody. Čistírna odpadní vody je také vybavena kogenerační jednotkou s výkonem 235 kWe/ 380 kWt. [12]

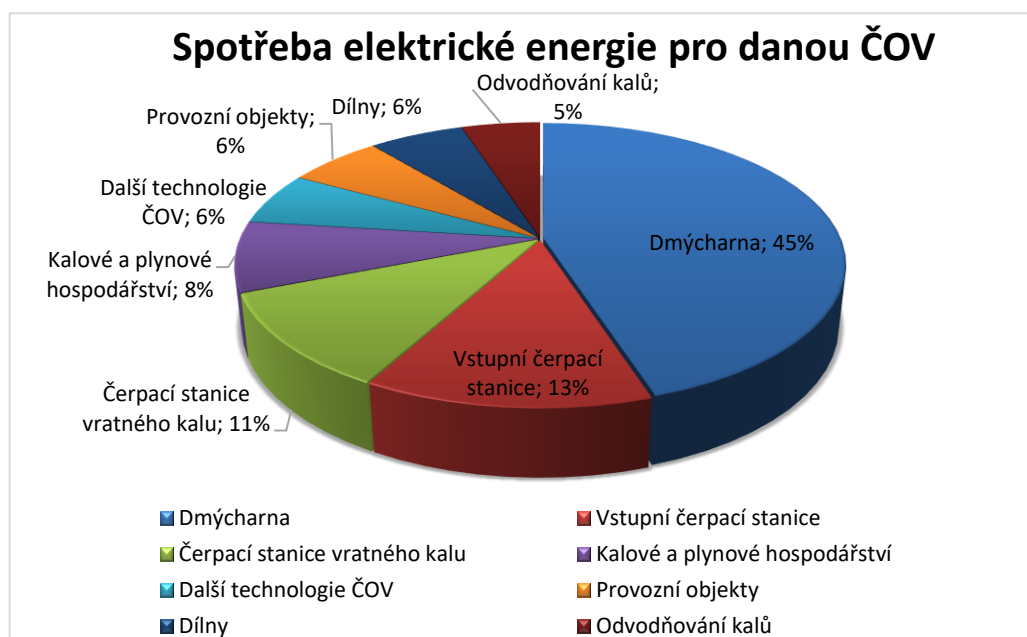
Tab. 5.: Zhodnocení energetické náročnosti čistírny odpadní vody pro rok 2019 vyjádřeno v kWh [12]

Vyrobená elektrická energie v kogenerační jednotce určená k vlastní spotřebě ÚV	Elektrická energie nakoupená ze sítě	Celková spotřeba areálu ČOV
784 200	1 870 512	<b>2 654 712</b>

Z tabulky Tab. 5. můžeme vyčíst, že soběstačnost pomocí kogenerační jednotky téhle ČOV se pohybuje okolo 30 %.

Tab. 6.: Spotřeba elektrické energie technologických celků ČOV v roce 2019 vyjádřená v kWh [12]

Dmýcharna	Kalové a plynové hospodářství	Vstupní čerpací stanice	Odvodňování kalů	Čerpací stanice vratného kalu	Ostatní (provozní objekty, dílny, další technologie ČOV)
1 200 514	211 810	335 530	137 350	283 800	485 708



Obr. 9. Spotřeba elektrické energie v jednotlivých procesech v dané ČOV [12]

Na obrázku Obr. 9. můžeme vidět, že nejvíce náročnou částí ČOV jsou dmýchary, jak zbylo zmíněno výše. Následuje čerpání vody a celkové zpracování kalu. Na obrázku Obr. 8. je všeobecný graf spotřeby elektrické energie v ČOV, jestliže porovnáme tento graf se skutečnou ČOV na obrázku Obr. 9. je patrné, že se hodnoty od sebe příliš neliší.

Energetická náročnost této čistírny odpadních vod, která ročně vyčistí 8 500 000 m<sup>3</sup> je **0,31 kWh/1 m<sup>3</sup>**. [12]

### **5.3. Energetická náročnost vodovodní a kanalizační sítě**

Neméně důležitou součástí vodárenství jsou kromě čistíren odpadních vod a úpraven vod, distribuční sítě pitné vody a odvádění odpadní vody. Vzhledem ke geografickým podmínkám se musí voda v mnoha případech přečerpávat. Tento proces je energeticky mnohdy velmi náročný a vždy záleží na místních podmínkách. Může nastat takový případ, že energetická náročnost na distribuci 1 m<sup>3</sup> je vyšší než energetická náročnost vody vyrobené v úpravně vody. Mnohdy se energetická náročnost na distribuci 1 m<sup>3</sup> pitní vody vyrovná energetické náročnosti vody čištěné v ČOV. Je důležité si uvědomit, že vyrobenou pitnou vodu je potřeba distribuovat pomocí vodojemů k obyvatelstvu. Pro ČOV platí to stejné, odpadní voda se musí do čistírny nejprve dostat, aby mohlo dojít k jejímu vyčištění.

## 6. Kritická infrastruktura

Kritickou infrastrukturu dále jen KI popisuje zákon č. 240/2000 Sb. Prvek KI nebo systém prvků KI, je takový, jehož narušení funkce by mělo závažný dopad na zabezpečení životních potřeb obyvatelstva, ohrožení bezpečnosti státu, ohrožení zdraví osob nebo na propad ekonomiky. Provozovatelem prvků KI jsou soukromé subjekty nebo státní instituce. Prvkem KI jsou zejména stavby, zařízení, prostředky nebo veřejné infrastruktury. Určují se podle průřezových a odvětvových kritérií. V současné době je těchto prvků zhruba 1300, jejich seznam vede Ministerstvo vnitra. Za ochranu prvků KI je v první řadě zodpovědný její provozovatel. Subjekty KI mají tzv. plán krizové připravenosti, v tomto plánu jsou všechna možná ohrožení funkce KI a zároveň jsou zde stanovena opatření na ochranu daného subjektu. [15]

### Práva vztahující se k prvkům KI [15]

- přednostní zásobování za krizového stavu
- povinnost provozovatele prvku KI se o něj patřičně starat
- zaměstnanci prvku KI, kteří se podílí na funkci KI, jsou za kritického stavu osvobozeni od pracovních povinností a pracovní výpomoci

### Povinnosti subjektů KI [15]

- na výzvu daného správního úřadu je provozovatel subjektu, o kterém lze předpokládat, že by mohl spadat do prvku KI, povinen doložit všechny informace, které jsou nutné k určení prvku KI.
- mít zpracován plán krizové připravenosti subjektu KI. Tento plán by měl být veřejný a popisuje rizika pro daný subjekt
- určit bezpečnostního zaměstnance, který komunikuje se správními úřady a je zodpovědný za zpracovanou dokumentaci
- určit bezpečnostního zaměstnance, který za subjekt KI poskytuje součinnost při plnění úkolů podle krizového zákona
- podléhat kontrolám ze strany gesčního ústředního správního úřadu

### 6.1. Oblasti národní KI

#### I. Energetika – Elektřina – výroba elektřiny, přenosová soustava, distribuční soustava

- **Zemní plyn** – přepravní soustava, distribuční soustava, skladování plynu
- **Ropa a ropné produkty** – přepravní soustava, distribuční soustava, skladování, výroba pohonných hmot
- **Centrální zásobování teplem** – výroba tepla, distribuce tepla

**II. Vodní hospodářství** – zásobování vodou z jednoho nenahraditelného zdroje při zásobování nejméně 125000 obyvatel

- úpravny vody o výkonu nejméně 3000 l/s
- vodní dílo o objemu nejméně 100 miliónů m<sup>3</sup>

**III. Potravinářství a zemědělství – Rostlinná výroba** – výměra obhospodařované půdy jednotlivého podniku, na území kraje pro jednotlivou plodinu nejméně 4000 ha

- **Živočišná výroba** – skot, prasata, drůbež, vymezeno vždy počtem chovaných kusů
- **Potravinářská výroba** – mlýnské výrobky, cukr, pekařské výroby, mléko a mlékárenské výrobky, maso a masné výrobky, vymezeno vždy velikostí produkce

**IV. Zdravotnictví** – počet lůžek v zdravotnickém zařízení musí být vyšší než 2500

- výroba léčiv

**V. Doprava – Letecká doprava** – letiště a řízení letového provozu

- **Silniční doprava** – pozemní komunikace, která je provozována jako dálnice nebo silnice I. třídy, jestliže pro ni neexistuje objízdná trasa
- **Železniční doprava** – celostátní dráhy, systém správy a organizace řízení železničního provozu
- **Vnitrozemská vodní doprava** – v případě, když její užití nelze nahradit užitím náhradní vodní cesty nebo jiným druhem dopravy

**VI. Komunikační a informační systémy** – Technologické prvky pevné sítě elektronických komunikací; Technologické prvky mobilní sítě elektronických komunikací; Technologické prvky sítí pro rozhlasové a televizní vysílání; Technologické prvky pro satelitní komunikaci; Technologické prvky pro poštovní služby; Technologické prvky informačních systémů; Oblast kybernetické bezpečnosti

**VII. Finanční trh a měna** – výkon činnosti České národní banky

- poskytování služeb v bankovníctví a pojišťovnictví

**VIII. Nouzové služby** – integrovaný záchranný systém; radiační monitorování; předpovědní, varovná hlášená služba

**IX. Veřejná správa** – veřejné finance; sociální ochrana a zaměstnanost; ostatní státní správa; zpravodajské služby [16]

Aby prvek KI mohl být určen, musí splňovat odvětvová a průřezová kritéria podle zákona č. 432/2010 Sb. Průřezovým kritériem je například 250 obětí nebo více než 2500 hospitalizovaných osob po dobu delší než 24 hodin. Dalším průřezovým kritériem je ekonomický dopad s mezní hodnotou hospodářské ztráty státu vyšší než 0,5 % HDP. Posledním průřezovým kritériem je dopad na veřejnost, který by omezil poskytování služeb nezbytných pro život nebo by byl zásahem do každodenního života pro více než 125 000 obyvatel. [15]

## 6.2. Vodárenství jako kritická infrastruktura

Když se v počátcích tvořil plán kritické infrastruktury, jak v České republice, tak v Evropské unii, nekladl se důraz na dodávky vody. Postupné zhodnocování rizik, která by měla dopad na ekonomický, sociální, zdravotní a ekologický sektor, donutila přehodnotit posouzení důležitosti dodávky vody. Ochrana vodovodních řadů není důležitá pouze z pohledu zajištění dodávky vody spotřebiteli, ale dodávka vody je klíčová pro fungování všech ostatních prvků a strategických systémů pro chod státu. Drtivá většina dalších oblastí KI je odkázaná na dodávky pitné vody a při jejím nedostatku nebo úplném výpadku dochází k dominovému efektu s následným zhroucením celého systému. V případě zastavení dodávek vody se naruší životní standardy lidí, ale větším problémem jsou dopady na technickou infrastrukturu státu. Narušeny budou zejména tyto odvětví: nouzové služby, požární bezpečnost, zdravotnictví a výroby potravin. Infrastruktura veřejných kanalizací a vodovodů je také důležitá pro průběžné odstraňování ekologických a zdravotně závadných odpadů z vody. Čistírny odpadních vod a veřejné kanalizace z velkých aglomerací nás chrání před ekologickou katastrofou. [17]

### Z hlediska vodárenství v ČR patří do KI tato odvětví [18]

- Zabezpečení a správa podzemních a povrchových zdrojů vody
- Zásobování pitnou a užitkovou vodou
- Systém odpadních vod

### Z hlediska vodárenství v EU patří do KI tato odvětví [18]

- Kontrola kvality vody
- Zásobování pitnou vodou
- Kontrola těsnosti a kontrola množství vody

Česká republika má oproti Evropské unii zahrnuto v oblasti KI zahrnutou službu zásobování užitkovou vodou a systém odpadních vod. Z hlediska vodohospodářství nemá v České republice žádný objekt mezinárodní význam, tudíž nespadá do součásti evropské kritické infrastruktury.

V České republice v dnešní době máme národní program energetické odolnosti, v kterém se určují strategické objekty. Tyto objekty se dělí do 4. stupňů podle priority dodávky elektrické energie. **V 1. stupni s nejvyšší prioritou jsou objekty, u nichž by v případě přerušení dodávky elektrické energie, mohlo dojít k přerušení dodávky pitné vody. Jsou to tedy úpravný vody a čerpací stanice u vodojemů.** V 2. stupni jsou takové objekty z vodárenství, které by mohly svou nefunkčností narušit čištění odpadních vod. Mezi takové objekty patří čistírny odpadních vod a čerpací stanice odpadních vod.

## 7. Blackout

### 7.1. Definice blackoutu a jeho dopady na společnost

Pojem blackout znamená rozsáhlý výpadek dodávky elektrické energie na velkém území, po dobu několika hodin nebo dnů. Tento výpadek poté ovlivní obrovské množství lidských životů a naruší celkový chod státu, zejména naruší ekonomický vývoj zasaženého území tímto výpadkem. Nebezpečí blackoutu pro obyvatelstvo, tkví hlavně v neschopnosti člověka skladovat elektrickou energii. Státy mají zásobu strategických surovin na 90 dní, což u elektřiny nelze praktikovat. K blackoutu může nejčastěji dojít vlivem klimatických podmínek, které mohou svým působením poškodit jednotlivé články elektrizační soustavy. Také k výpadku může dojít vlivem přetížení nebo vlivem špatného stavu sítě. V posledních letech se velmi mluví o možnosti teroristických útoků na jednotlivé části ES. Tento způsob útoku je velkým strašákem pro technologicky vyspělé státy. Hrozbou je i kyberterorismus pomocí komunikační a síťové linky. [19]

V České republice je přenosová soustava kompaktním celkem, který je napojen na 4 soustavy sousedních zemí (Polsko, Slovensko, Rakousko, Německo). Přenosová soustava má mezinárodní i evropský přesah. Z tohoto důvodu je vždy primární strategií obnovy soustavy, z přenosových soustav sousedních zemí. Docílí se tak zisku stabilního napětí. Jestliže tento způsob obnovy přenosové soustavy není možný, postupuje ČEPS podle provozních instrukcí. Obnova napájení by v tomto případě byla pokryta z vodních a plynových elektráren. Když nastane blackout jsou podle energetického regulačního úřadu prioritní některé segmenty, u kterých se musí elektrická energie obnovit přednostně. Nejvyšší prioritu mají v České republice obě jaderné elektrárny, poté klasické elektrárny, hl. město Praha a ostatní velké aglomerace.

Výpadek elektrické energie a jeho dopady budou přicházet v několika fázích. V těchto fázích postupně nebude možno využívat technologií, které jsou přímo závislé na dodávce elektrické energie a současně nemají náhradní zdroj energie, jakými jsou například dieselaagregáty nebo baterie. Jestliže k obnově dodávky elektrické energie dojde do 24 hodin od vzniku blackoutu, situace je z hlediska veřejného pořádku a ochrany osob udržitelná. Avšak není-li v následujících dnech obnovena dodávka elektrické energie a nejsou uspokojeny základní fyziologické lidské potřeby obyvatelstva, lze s velkou pravděpodobností tvrdit, že pátého dne od vzniku blackoutu nastává rozklad komunity lidí. Občané se budou snažit v zájmu zachránění vlastního života a života svých blízkých, přežít za každou cenu.



## 7.2. Příčiny vzniku blackoutu

Příčin vzniku blackoutu může být celá řada, ale my si uvedeme ty nejpravděpodobnější. Avšak nejčastěji dochází k rozsáhlým výpadkům z důvodu souběhu několika příčin najednou.

- **Negativní působení přírodních vlivů** – v našem podnebním páse se nejreálněji jeví větrná smršť, která dokáže vyvolat dominový efekt, který má za následek zhroucení celé soustavy. Stejný dopad může mít v zimních obdobích i námraza na vedení, která dokáže způsobit průhyb vodičů, který v extrémních případech může vést až k jejich přetržení. Ochranou vedení proti zmrázkům může být oklepávání nebo vyhřívání vodičů, avšak ochrana proti větru může být pouze distanční (osekávání větví a kácení stromů). Jelikož nedokážeme přesně odhadnout sílu a vliv počasí na elektrizační soustavu, jsou přírodní vlivy nejpravděpodobnější příčinou vzniku rozsáhlých výpadků elektrické energie.
- **Technické poruchy** – ani nejmodernější technologie nemůže vyloučit možnost poruchy, která může vzniknout v místech výroby elektrické energie nebo v přenosové soustavě. Závady na jednotlivých prvcích mohou vést například k požáru a následnému odpojení prvku od sítě.
- **Přetoky elektrické energie ze zahraničí** – pro naši přenosovou soustavu jsou primárním problémem větrné parky na severu Německa, které při náhle neočekávané produkci elektrické energie mohou negativně ovlivnit naši přenosovou soustavu. Na hraničním přechodu mezi Německem a Českou republikou na severu Čech vybudovala firma ČEPS a.s. speciální transformátor, který funguje jako ochrana naší přenosové soustavy. Avšak ani tato obrovská investice není 100% ochranou české přenosové soustavy.
- **Lidský faktor** – v přenosové soustavě může dojít k několika na sebe navazujícím negativním vlivům, tyto vlivy musí dispečer vyhodnotit a zareagovat na ně. Jestliže pochybí, může vést tato situace k rozsáhlým výpadkům elektrické energie. Stejný dopad může mít i špatná manipulace při údržbě nebo porušení bezpečnostních opatření.
- **Teroristický útok** – teroristický útok může být veden přímo na prvky elektrizační soustavy, nebo může být veden přes informační síť, takovému útoku se říká kybernetický útok. [20]

## 7.3. Blackout v praxi

V České republice k blackout ještě nikdy nedošlo. Výpadky elektrické energie jsou spíše místního charakteru v rádech hodin. Za zmínku stojí roky 2007 a 2008, kdy několik dní lidé v horských oblastech zůstali bez proudu, z důvodu ničivých orkánů Kyrill a Emma. V naší zemi je možnost vzniku blackoutu, který by vedl k rozkladu společnosti minimální, ale ne zcela vyloučeny. Meziročně se investují miliardy do přenosové soustavy a jejího rozvoje. Blackouty jsou častější v zemích s rozvíjící se ekonomikou, jako jsou například Indie nebo Turecko. Dynamický růst ekonomiky vyžaduje dostatečné množství elektrické energie, na kterou však není tamější síť technologicky přizpůsobena. K největšímu blackoutu v dějinách lidstva došlo v Indii, kde přenosová síť nevydržela nadměrné zatížení. 31. července roku 2012 zůstalo bez proudu 600 miliónů obyvatel. I když se uvádí, že polovina z těchto lidí neměla přístup k elektrické energii, tak i přesto jejím výpadkem byl poznamenán jejich život z důvodu absence služeb. [21] [22]

Tab. 7. Velké blackouty v dějinách lidstva [23][24]

<b>Země</b>	<b>Datum</b>	<b>Trvání</b>	<b>Počet zasažených obyvatel</b>	<b>Příčina vzniku</b>
<b>Indie</b>	30. července 2012	24 hodin	<b>670 miliónů</b>	Závada relé a přetížení VVN.
<b>Bangladéš</b>	1. listopadu 2014	10 hodin	<b>150 miliónů</b>	Odstavení přenosového vedení z Indie.
<b>Pákistán</b>	25. leden 2015	několik hodin	<b>140 miliónů</b>	Teroristický útok na přenosovou soustavu.
<b>Indonésie</b>	18. srpna 2005	7 hodin	<b>100 miliónů</b>	Výpadek vedení VVN.
<b>Brazílie</b>	11. března 1999	2 hodiny	<b>97 miliónů</b>	Úder blesku do rozvodny.
<b>Itálie a část Švýcarska</b>	28. září 2003	12 hodin	<b>56 miliónů</b>	Bouře poškodila vedení VVN.
<b>severovýchod Brazílie</b>	26. října 2012	4 hodiny	<b>53 miliónů</b>	Požár v rozvodně.
<b>severovýchod USA a část Kanady</b>	14. srpna 2003	60 hodin	<b>50 miliónů</b>	Výpadek zdroje ve špičce a následný kontakt vedení se stromy.
<b>Čína</b>	28. ledna 2008	12 dní	<b>30 miliónů</b>	Sněhová bouře poškodila vedení VVN.
<b>severovýchod USA a část Kanady</b>	9. listopadu 1965	14 hodin	<b>30 miliónů</b>	Chyba v nastavení ochrany.
<b>Kolumbie</b>	27. dubna 2007	4,5 hodiny	<b>25 miliónů</b>	Chyba obsluhy v rozvodně.
<b>Nový Zéland</b>	20. února 1998	5 týdnů	<b>60 tisíc</b>	Závada na starém kabelu VVN.



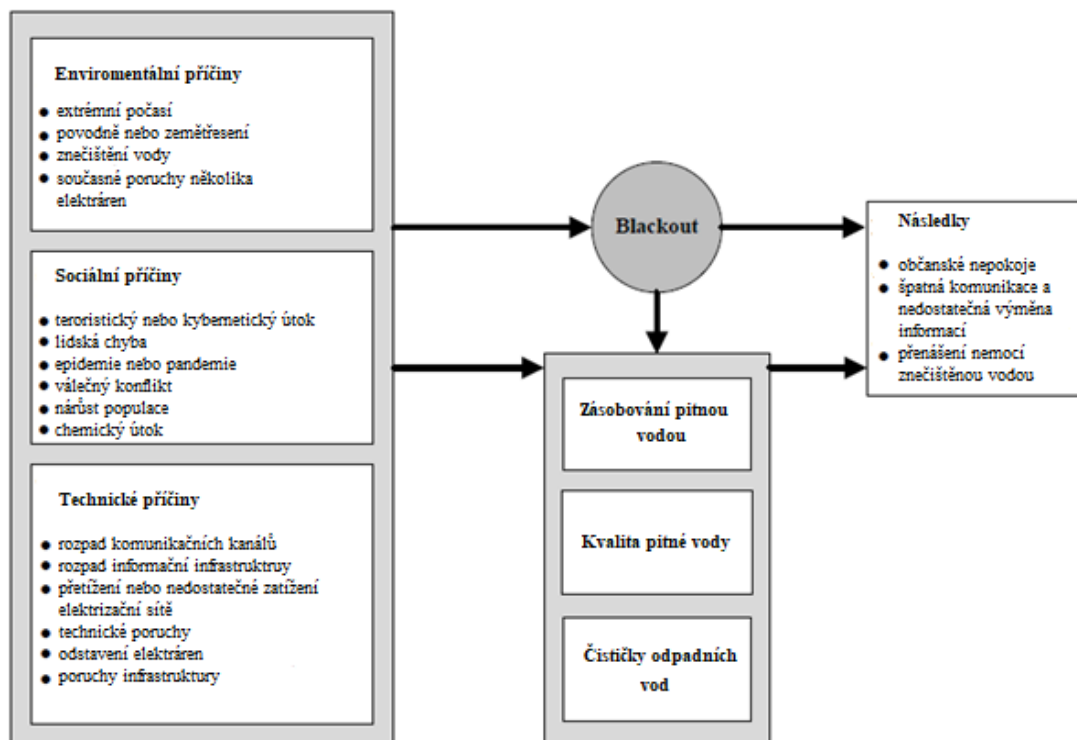
**Obr. 10.** Noční pohled na planetu Zemi z vesmíru [58]

Jak může k takovému výpadku dojít v našich zeměpisných šířkách, poslouží příklad z Itálie ze září roku 2003. V noci z 27. září probíhala v Itálii Bílá noc. V tento den jsou italská města plná lidí a veřejná doprava je v provozu i v nočních hodinách. Z důvodu výpadku se tisíce lidí ocitli uvěznění ve vlacích a jiných prostředcích městské dopravy. Tuto noc trávili lidé v ulicích měst, jelikož se neměli, jak dostat do svých domovů. Důvodem tohoto výpadku byl zkrat na vedení 380 kV na území Švýcarska. Jelikož je síť Itálie a Švýcarska propojena, měl tento zkrat neblahý vliv na elektrizační soustavu Itálie. Z důvodu vysokého zatížení se vedení prověsilo a došlo k výboji mezi stromem a vedením. Celkovou zátěž poté převzaly 2 paralelní linky. Jedna z těchto linek se za pouhých 24 minut rovněž vlivem zatížení prověsila a došlo k výboji mezi stromem a vedením. Poslední linka všechen výkon už nebyla schopna přenést sama a po 4 sekundách je rovněž odpojena. Po ztrátě celkového výkonu přicházejícího do Itálie ze Švýcarska byla po 12 sekundách země odpojena od zbytku evropské soustavy. Důsledkem tohoto výpadku se muselo obejít bez elektřiny více než 56 miliónů obyvatel Itálie a části Švýcarska. [25]

#### **7.4. Blackout ve vodárenství**

Riziko blackoutů je stále reálnější, jelikož poptávka po elektrické energii postupem času roste. Také zařazování obnovitelných zdrojů elektrické energie nepřispívá k spolehlivosti přenosové soustavy. V případě výpadku elektrické energie nastává v oblasti vodohospodářství velký problém, jak z důvodu dodávky pitné vody, tak může dojít k ekologickým problémům spojených s čištěním odpadních vod. V dalších kapitolách bude podrobně rozebráno, jak se dá eliminovat důsledky výpadku elektrické energie ve vodárenství.

Příčiny výpadku elektrické energie lze rozdělit do třech kategorií: environmentální, sociální a technické. Tyto příčiny mohou přímo nebo nepřímo ovlivnit vodohospodářství. V diagramu je popsán dopad na vodohospodářství, který by měl za následek výpadek elektrické energie.



**Obr. 11** Schéma následků, příčin a nebezpečí ovlivňující vodohospodářství v případě blackoutu [59]

Vodohospodářství se skládá z tisíců vodovodních sítí, vodních nádrží, potrubí a zařízení, které jsou nezbytné pro jeho funkci. Společně s elektřinou je voda jedním z prvků kritické infrastruktury a na jejich funkčnosti jsou přímo závislé ostatní oblasti kritické infrastruktury.

Při výpadku proudu, jestliže není náhradní zdroj elektrické energie, automaticky dochází k zastavení přenosu vody a čištění odpadních vod. Jelikož čistírny odpadních vod jsou napojeny na vodní systémy, dochází tak k jejich znečištění. Mimo přerušení funkce technologií na úpravu vod a čištění odpadních vod, také dochází k omezení řízení vodovodních sítí.

Bez elektrického proudu bude docházet k hromadění vody. Budou také zaplněny všechny výtlačné řady nebo naopak budou vyprázdněny, ale nejpodstatnějším problémem je, že nebudou moci být naplněny vodojemy pitnou vodou.

Výpadek elektrické energie způsobuje také odstavení čerpadel, takový výpadek obvykle vede k výkyvům tlaku, který svým působením může poškodit potrubí. Tohle se například stává, když se pohybující voda v potrubí zastaví příliš rychle, následuje tlakový ráz, jehož působením může dojít k poškození potrubí. Důsledky těchto poškození mohou být ztráty vody odtokem prasklinami v potrubí, znečištění vody způsobeno vniknutí nečistot prasklinou v potrubí a v neposlední řadě šíření nemocí, které je opět způsobeno vniknutím nečistot do vodovodní sítě.

## Blackout v úpravkách vod

Při výpadku elektrické energie je ve vodohospodářství primární ohrožení technologie úpravy vody. Technologický proces úpravy vody je velice náročný na spotřebu elektrické energie. Nejvíce energetický náročný je proces čerpání vody, ale i ostatní procesy v celé technologii jsou velmi energeticky náročné (filtrace, čiření atd.). Ve své podstatě nejde vybrat, který proces je v celé technologii úpravy vody nejdůležitější, abychom mohli v případě blackout ten nejméně potřebný odpojit. Všechny procesy na sebe navazují, tak aby byly dodrženy všechny kvalitativní parametry vody.

V dnešní době musí mít všechny vodárenské společnosti v České republice vypracovaný Plán krizové připravenosti, který se zabývá dodávkou pitné vody při mimořádných událostech a krizových stavech. Tento plán vyhodnocuje všechny možná rizika a jejich dopad na provoz úpravy vody. Pomocí tohoto plánu se snaží zamezit stavům ovlivňujícím jejich činnost nebo jejich působení omezit v co největší míře. V posledních letech s narůstajícím rizikem blackoutu, vodárenské společnosti zřídily tzv. Plán zajištění dodávek elektrické energie při blackoutu. V rámci těchto plánů probíhají cvičení, v kterých se ověřuje připravenost na výpadek elektrické energie. Tyto cvičení jsou velice užitečné na ověřování plánů a postupů, které jsou stanoveny, ale také zároveň přináší náměty pro změnu a inovace plánů pro blackout.

Nouzové napájení v případě výpadku elektrické energie může být řešeno několika způsoby. Jeden z nejrozšířenějších zdrojů elektrické energie jsou elektrocentrály (dieselagregáty). Další možností, jak napájet úpravy vody je využití obnovitelných zdrojů elektrické energie. Primárně se využívá malých vodních elektráren. V úvahu přichází i solární panely a větrné elektrárny. V neposlední řadě nesmíme opomenout palivové články, které zažívají velký rozmach a jsou zdrojem elektrické energie budoucnosti. V dalších kapitolách budou jednotlivé možnosti podrobněji popsány.

## Blackout v čistírnách odpadních vod

Stejně jako úpravy vody jsou čistírny odpadních vod velice náročné na spotřebu elektrické energie. Také jsou základním kamenem vodohospodářství a prvkem KI. Jejich nečinnost by vyvolala velké množství problémů. Z tohoto důvodu jsou vypracována opatření na zmírnění dopadů výpadku elektrického proudu, nebo jsou vypracována taková opatření, která ho dokáží úplně eliminovat. Nejpodstatnějším problémem je vypouštění odpadní vody přímo do recipientu (nejčastěji řeka). Tento stav nastává zhruba za 6-8 hodin, záleží na srážkových úhrnech. Ale v případě blackoutu by byla pravděpodobně omezena i dodávka pitné, což by mělo naopak za následek snížení objemu odpadní vody od obyvatelstva. Z tohoto důvodu by dlouhodobá ztráta dodávky elektrické energie mohla vést, až k ekologické katastrofě. [26]

Primárním problémem pro okolí a obyvatelstvo v případě výpadku elektrické energie na ČOV je vypouštění vody přímo do recipientu, ale pro samotné zařízení představuje největší ohrožení sedimentace a zahnívání aktivovaného kalu v aktivační nádrži. Po přibližně 12 – 16 hodinách bez přístupu nové odpadní vody dochází k odumírání bakterií, které jsou nezbytné pro chod ČOV. Jestliže tyto bakterie vymřou a obnovila by se dodávka elektrické energie, bude trvat 3 týdny, než bude ČOV opět plně funkční. V případě výpadku elektrické energie se vždy snažíme udržet v chodu alespoň jedno

z dmýchadel, které by bylo schopno zabránit zahánění aktivovaného kalu. Dalším dopadem pro samotné zařízení v případě ztráty dodávky elektrického proudu, je postupné tlumení až celkové zastavení tvorby bioplynu. Ve fermentačních nádržích už nebude požadovaná teplota pro tento proces. [26]

Nouzové napájení se zde řeší podobně jako úpraven vod. Nejčastějším řešením jsou diesel agregáty, které jsou pro svou spolehlivost a jednoduchost, stále základním pilířem pro nouzové napájení. I zde se uplatňují obnovitelné zdroje energie, například solární kolektory. Trendem a budoucností v ČOV je však kombinovaná výroba tepla a elektrické energie z bioplynu pomocí kogeneračních jednotek. [26]

### 7.5. Návrh řešení blackoutu v ČOV

Možné řešení blackoutu v ČOV by bylo v omezení přítoku vody do celého procesu. Jednalo by se o proces, při kterém bychom se snažili udržet naživu mikroorganismy. Větší část vody by šla obtokem a 1/3 vody procházela ČOV, aby se zachránily mikroorganismy v aktivační nádrži, jelikož pro svůj život potřebují neustále kyslík a živiny. Na vstupu by poté bylo funkční jen jedno čerpadlo, což by mělo za následek pokles spotřeby elektrické energie na čerpání vody o 50 %. Jelikož je snížený přítok odpadní vody, může se také snížit výkon dmýchadel o 50 %. Vše ostatní by bylo vypnuto. Budeme vycházet z údajů v kapitole 5.2.

Tab. 8.: Denní spotřeba čistírny odpadní vody v kWh za den [12]

Průměrná denní spotřeba elektrické energie ČOV	Průměrná denní spotřeba elektrické energie ČOV při blackoutu
7 273	2 104

V případě takového řešení pro záchranu aktivovaného kalu v ČOV bychom na 24 hodinový provoz potřebovali 2 104 kWh elektrické energie. Toto množství by nám mohla pokrýt kogenerační jednotka, která by v případě výpadku přešla do ostrovního provozu a napájela jen 2 potřebné procesy. Kogenerační jednotka v této ČOV průměrně denně vyrobí 2 148 kWh elektrické energie. Je potřeba mít samozřejmě v záloze diesel agregáty. Jelikož by mohla dojít zásoba bioplynu, protože s omezením veškerých procesů v ČOV klesá i produkce bioplynu. **Toto není plnohodnotné čištění odpadní vody, jedná se pouze o proces na záchranu biologie ČOV.**

## 8. Současný stav energetiky vodárenských provozů

V úpravných vod a čistírnách odpadních vod je většinou řešeno nouzové napájení stejně a to nejčastěji pomocí diesel agregátů. Oba provozy se také snaží o využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie v tomhle případě slunce. Ale obrovskou výhodou úpraven vod je potenciál využití energie vody pro výrobu elektrické energie po celou cestu vody od zdroje až k odběrateli. V ČOV je bezesporu největší potenciál ve využití kogeneračních jednotek, které spotřebovávají vyrobený bioplyn a zároveň jsou zdrojem tepla a elektrické energie.

Jak již bylo zmíněno, největším problémem při výpadku elektrické energie u ČOV je riziko ekologické katastrofy a vymření bakterií, které jsou nutné pro její funkční provoz. Pro proces úpravy vody je samozřejmě důležitý proces samotné úpravy, avšak i když zabezpečíme bezproblémový chod úpravy vody, není zabezpečena dodávka vody k odběrateli. Na cestě k odběrateli je velké množství zařízení (čerpadla atd.), které jsou závislé na elektrické energii, a při jejím výpadku bude dodávka přerušena.

Aby mohly provozy ČOV a úpravy vod fungovat v případě blackoutu, přechází do takzvaného ostrovního režimu, v kterém se odpojí od distribuční sítě a vytvoří si tak vlastní elektrickou síť pro daný provoz.

### 8.1. Ostrovní provoz

Je to takový provoz, který se odpojí od vnější distribuční sítě a funguje pomocí místního zdroje elektrické energie nebo skupiny zdrojů. Můžou vznikat ostrovní provozy plánované nebo neplánované. V takových provozech může docházet k odchylkám od standardních parametrů. Tyto parametry definuje norma ČSN EN 50160, která se v jedné ze svých částí zabývá kvalitou elektrické energie při ostrovním provozu. Při takovém provozu jsou povoleny větší odchylky napětí, k významnějším pak patří odchylky frekvence. [27]

Jako ve standardní elektrické síti, musí být i zde zajištěna rovnováha mezi výrobou a spotřebou. Tohle je důvod, proč ostrovní provozy, které vznikají neplánovaně, se zhroutí, nebo vyžadují rychlý zásah obsluhy. Jestliže je ostrovní provoz řízen automaticky, tak dochází automaticky k reakcím na nestandardní stavy elektrické sítě. Automatika si sama vytváří výkonovou bilanci a reguluje výrobní generátory podle potřeby. Ostrovní provoz má pevně definované místo, v kterém se provoz oddělí od vnější elektrické sítě, takovému bodu se říká „dělicí bod“ a je ovládán rozpadovou automatikou. Bilanční automatika poté sleduje rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. [27]

### 8.2. Nouzové napájení pomocí elektrocentrál

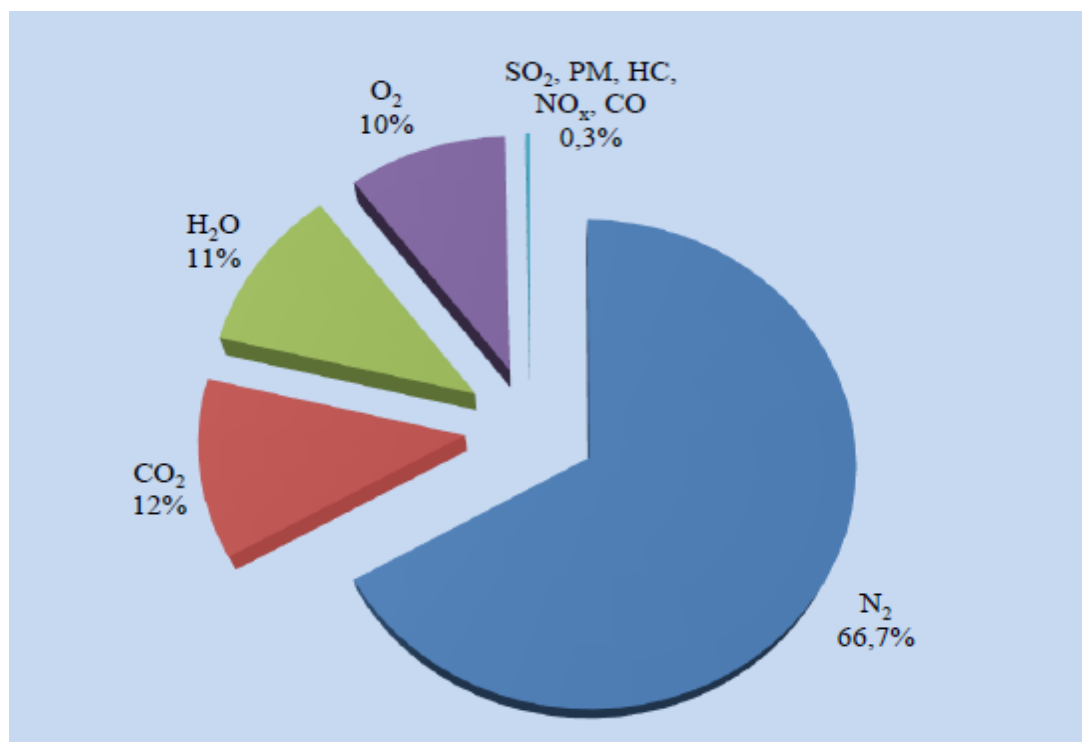
Elektrocentrály jsou užitečné všude tam, kde dojde k výpadku primárního zdroje elektrické energie. Mohou být mobilní nebo stacionární. Využívají se také, jako záložní zdroj pro různé provozy, které by v případě výpadku elektrické energie mohly mít dopad na chod každodenního života (úpravy vody, nemocnice, telekomunikace, energetika atd.)

Nejčastěji se využívá diesel agregát, který s nižší spotřebou paliva dokáže vyvinout větší výkon. Jeho princip je velice jednoduchý, spalovací motor svou mechanickou energií roztáčí generátor a ten vyrábí elektrický proud. Jelikož je tento způsob nouzového napájení ekonomicky i technicky přijatelný a provozování je snadné, je tento způsob napájení nejrozšířenější. Pro své využití pokrývají diesel agregáty širokou škálu výkonů, od desítek wattů, až po megawatty pro nouzové napájení elektráren. S narůstajícím požadovaným výkonem narůstá i cena těchto agregátů. Pro velké ČOV s ekvivalentem 100 000 obyvatel, je potřeba vstupní výkon 10 MVA, což je ekonomicky velmi náročné. V potaz přichází i spojení více generátorových jednotek, ale i toto řešení je finančně náročné. [26]

Historie nouzového napájení sahá až do druhé světové války k námořnictvu. Na válečných lodích se v případě ztráty primárního zdroje elektrické energie, jimž byla parní turbína, využívaly diesel agregáty. Jelikož se ovládaly ručně, tak i přesto následoval na lodích krátkodobý výpadek. Elektrická energie je pro loď velmi důležitá, jelikož docházelo k vyřazení všech systémů, tak se loď stala prakticky neovladatelnou a nefunkční. Po druhé světové válce se diesel agregáty rozšířily do všech odvětví a staly se nedílnou součástí i v běžném životě. [28]

Diesel agregáty s sebou nesou, ale velký nedostatek a tím jsou emise spalovacího motoru. Tzv. výfukové plyny jsou směsí několika chemických látek, které vznikají spalováním uhlovodíkových paliv. Jednotlivé prvky vznikají reakcí kyslíku s jinou složkou, která je obsažena v palivu.

Dokonalou oxidací uhlíku a vodíku vzniká  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ . Pokud se jedná o oxidaci nedokonalou, je produktem spalování  $\text{CO}$  a  $\text{H}_2$ . [29]



**Obr. 12.** Chemické složení výfukových plynů [29]



**NO<sub>x</sub> oxidy dusíku** – N<sub>2</sub> je oxid dusičitý, který je nejvýznamnější složkou spalin a NO je oxid dusnatý. Tyto oxidy dusíku jsou v dnešní době velkým problémem, jelikož vznikají i při spalování ušlechtilých paliv a navíc se jejich produkce zvyšuje. [29]

**CO<sub>2</sub> oxid uhličitý** – tento plyn není nijak nebezpečný pro člověka, ale zvyšuje účinky oxidu uhelnatého a podílí se na vzniku skleníkového efektu, který má na svědomí globální oteplování. Množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> se odvíjí od spotřebovaného paliva. Tudíž množství CO<sub>2</sub> se dá ovlivnit jen omezením spotřeby paliva. [29]

**CO oxid uhelnatý** – je to prudce jedovatý, hořlavý plyn, který ve vzduchu oxiduje na CO<sub>2</sub>. Tento plyn vzniká spalováním uhlíkatých paliv za nízké teploty a nedostatku vzduchu při spalování. [29]

**SO<sub>2</sub> oxid siřičitý** – vzniká spalováním paliv, které obsahují síru. Je to jedovatý štiplavý plyn. Jeho produkce ve výfukových plynech není legislativně stanovena, ale je omezeno maximální množství síry v palivech. [29]

**HC uhlovodíky** – takto se označují nespálené uhlovodíky z paliv, které jsou produktem nedokonalého spalování. Stejně jako oxidy dusíku jsou příčinou tvorby smogu a přízemního ozónu. [29]

**PM pevné částice** – patří zde částice kapalného a pevného charakteru, které mají velikost od několika nanometrů do 0,5 mm, které jsou schopny po nějakou dobu vydržet v ovzduší. Pevné částice mohou být tvořeny popelem, olejem, prachem, rzi a podobnými malými částicemi. [29]

Jelikož je v dnešní době globální oteplování a ekologie velkým problémem je produkce oxidu uhličitého pod drobnohledem. Oxid uhličitý je skleníkovým plynem, který zabraňuje tomu, aby planeta Země sdílela teplo s okolím, což má za následek globální oteplování, které jsou příčinou změny klimatu.

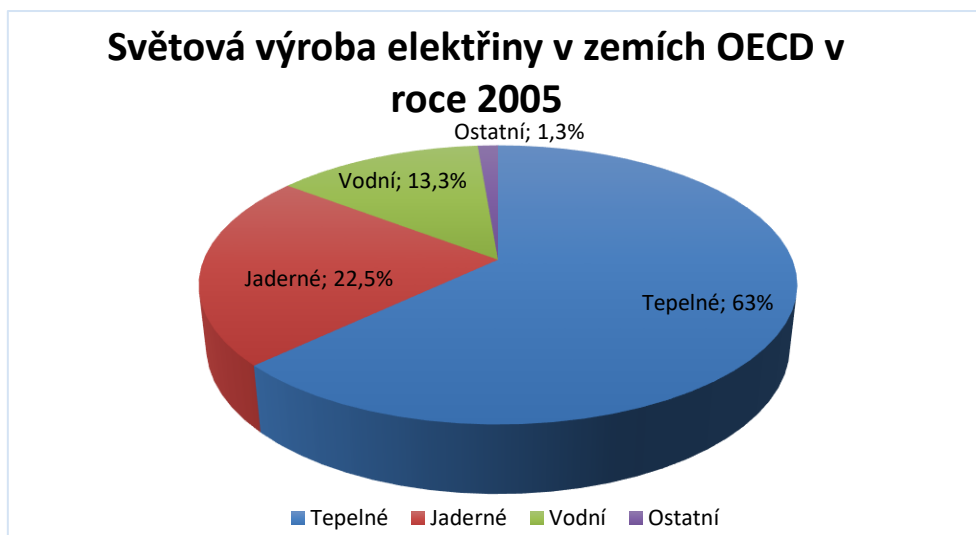
Tab. 9. Emise CO<sub>2</sub> při spalování různých druhů paliv [30]

Palivo	Emise CO <sub>2</sub>
	kg CO <sub>2</sub> / kWh
Nafta	0,27
Benzín	0,26
Zemní plyn	0,21

Pro představu, spotřeba elektrické energie úpravy vody v Ivančicích u Brna byla v měsíci květnu roku 2016 **11,3 MWh**. Jednoduchým výpočtem můžeme zjistit, kolik by se vyprodukovalo CO<sub>2</sub> během celodenního výpadku. Spotřeba elektrické energie je 15,2 kWh a během celodenního výpadku by se pomocí diesel agregátu vyprodukovalo 98,5 kg CO<sub>2</sub>. Výpočet je pouze ukázkový, protože v případě blackoutu by se provozovala jen zařízení nutná pro dodávku pitné vody. Z důvodu stále sílících nároku na ekologii a životní prostředí je produkce takových emisí nadměrná, proto se snažíme nacházet i mezi náhradními zdroji „čistější“ alternativy. [31]

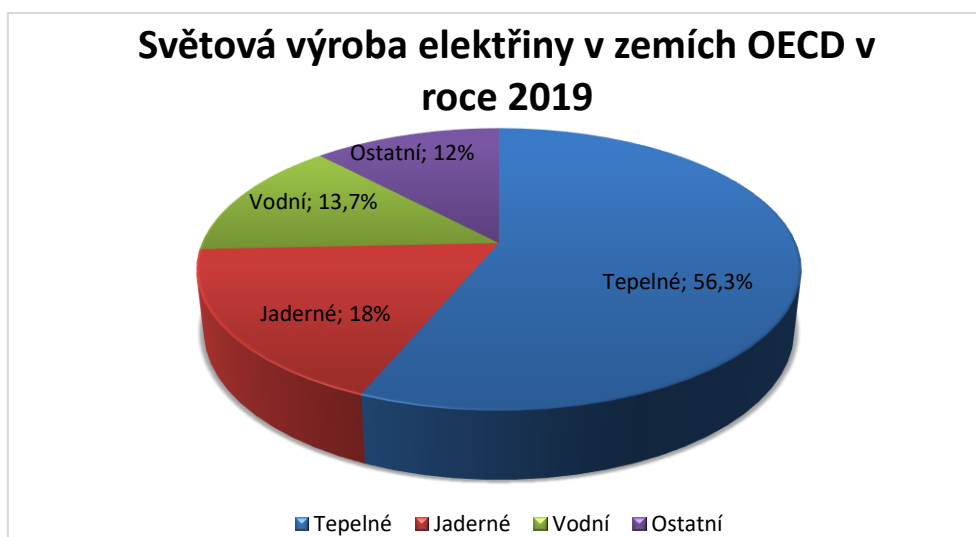
### 8.3. Využití obnovitelných zdrojů ve vodárenství a při nouzovém napájení

Mezi obnovitelné zdroje elektrické energie patří sluneční, vodní, větrná, geotermální energie a biopaliva. V posledních letech se rozmáhá vývoj palivových článků, které jsou velmi perspektivní, ale jejich vývoj je v počátcích. Všechny tyto zdroje jsou prakticky bez emisí a přispívají k snížení produkce oxidu uhličitého při výrobě elektrické energie. Ale i tyto zdroje s sebou přinášejí jistá úskalí, na která je potřeba brát ohled při jejich budování. Jednotlivé zdroje budou popsány v kapitolách níže.



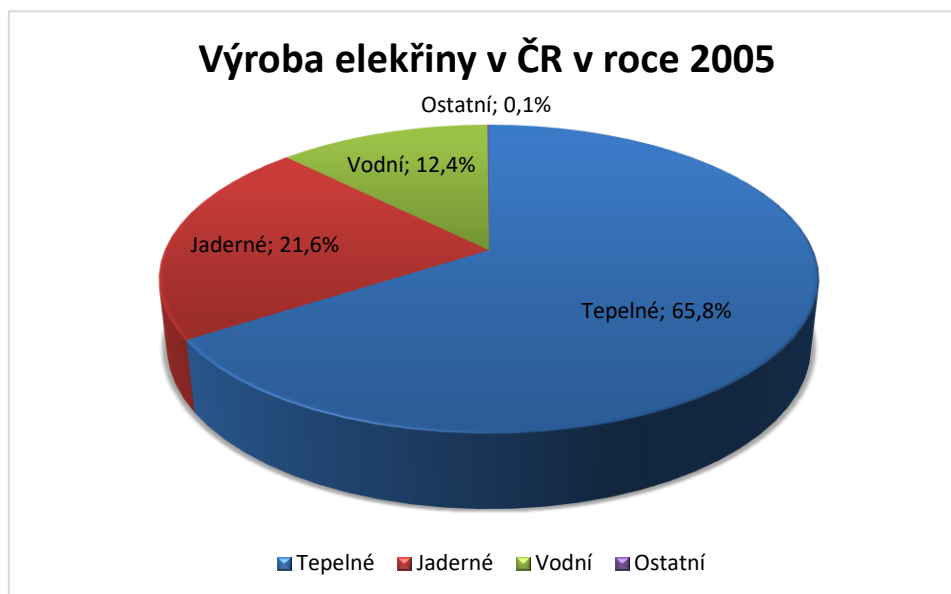
**Obr. 13.** Graf výroby elektrické energie ve státech OECD pro rok 2005 [60]

Zkratka OECD znamená Organizaton for Economic Co-operation and Developmet (organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj). Tato organizace byla založena roku 1961 a sdružuje 30 průmyslově vyspělých a demokratických zemí Světa, za účelem koordinace hospodářské a sociální politiky. [32]

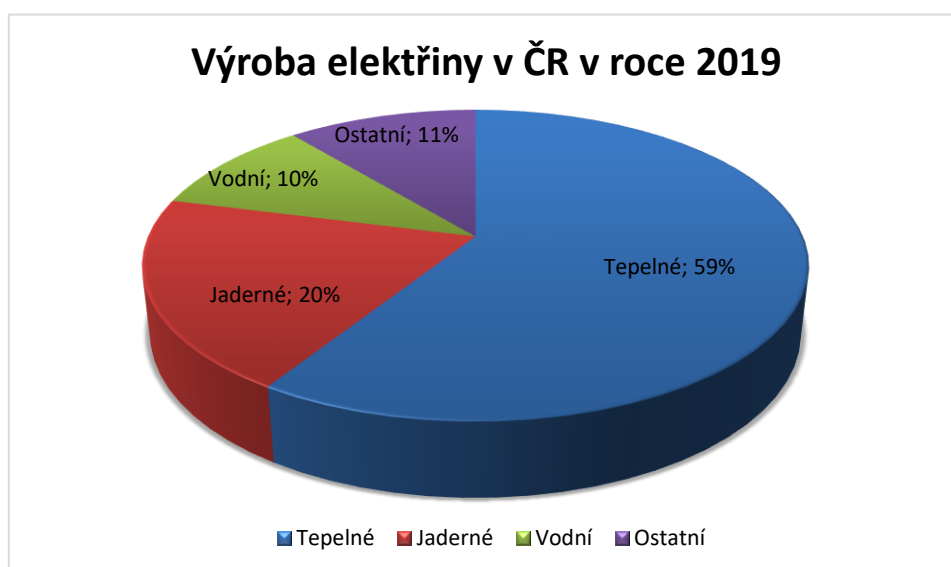


**Obr. 14.** Graf výroby elektrické energie ve státech OECD pro rok 2019 [60]

Z grafů je patrný úbytek výroby elektrické energie z tepelných elektráren a obrovský nástup výroby elektrické energie z ostatních zdrojů. Do těchto ostatních zdrojů se právě řadí většina obnovitelných zdrojů, kromě vodní energie, která je v energetice zakořeněna už desítky let.



**Obr. 16.** Graf výroby elektrické energie v ČR v roce 2005 [61]



**Obr. 15.** Graf výroby elektrické energie v ČR v roce 2019 [62]

Z grafu je patrné, že jako v ostatních zemích i u nás byl v průběhu let trend navyšování výroby elektrické energie z OZE. Je to samozřejmě způsobeno tlakem společnosti na snížení emisí, ale také štedrými dotacemi, které okolo roku 2010 byly poskytovány na výstavby solárních elektráren (solární boom). Tento solární boom přislíbil velké výkupní ceny, elektrické energie. Investoři a politici tehdejší doby nakoupili levnější solární elektrárny díky vstupu Číny na tento trh. Během krátké doby se z nás stala 4. nejvýše postavená země v Evropě, ve výrobě elektrické energie pomocí sluneční energie, i přes naše středoevropské klimatické podmínky.

OZE je nutno budovat tam, kde se plně využije jejich potenciál. Je naprosto logické, že vybudování velké solární elektrárny na Sahaře je naprosto na místě. Tento projekt, ale leží na stole už desítky let a z důvodu velké finanční náročnosti asi na papíře jen zůstane. Z dlouhodobého hlediska, ale při tak ambiciózních projektech nevíme, jaký by taková stavba měla dopad na místní klimatické podmínky.

Pokud chceme využít obnovitelné zdroje pro nouzové napájení, musí se nacházet tyto zdroje elektrické energie v blízkosti úpraven vod nebo ČOV, aby v případě nutnosti mohly přejít do ostrovního režimu.

### 8.3.1. Napájení pomocí malých vodních elektráren

Pro chod úpraven vody a dodávku vody ke spotřebiteli, se jako jeden z primárních OZE užívá potenciál vodní energie. Vodní elektrárny jsou spolehlivý a stabilní zdroj elektrické energie, který není v čase velmi proměnný (průtočné vodní elektrárny). Jestliže ovšem požadujeme velké množství energie v krátkém čase, můžou nám posloužit přečerpávací a akumulační vodní elektrárny. Ve výstavbě nových vodních elektráren však nastává problém v tom, že většina vhodných míst pro jejich výstavbu je již obsazena, nebo se zde setkává odpor ochránců přírody. Jako vhodný zdroj elektrické energie je hydroenergetický potenciál vody ve vodárenských procesech. Mohlo by se plně využít potenciálu přiváděné surové i pitné vody. Dalo by se také využít potenciálu na výstupu z úpraven vod, vodojemů, v místech redukčních ventilů atd. [33]



**Obr. 17.** Malá vodní elektrárna Spálov [63]

Jestliže by vodárenské společnosti využívaly veškerého hydroenergetického potenciálu, mohly by se stát plně soběstačnými na dodávce elektrické energie. V případě přebytku elektrické energie by mohly také s elektřinou obchodovat a dodávat ji do sítě. V případě blackoutu by mohly být takto projektované úpravy vody odpojeny od vnější sítě. MVE by v takovém provozu nabíjely baterie, které by sloužily pouze pro napájení nezbytných zařízení pro úpravu a dopravu vody ke spotřebiteli. Jestliže součet výkonů všech MVE ve vodárenském procesu je dostatečně velký, během výpadku elektrické energie nedojde k žádné změně provozu. Vedle ekonomických a ekologických výhod, které instalace MVE do vodárenského procesu přinášejí, stojí i zlepšení celého procesu úpravy vody. Když surová voda vstupuje do samotné úpravy vody, je kvalitně provzdušňována. K lepšímu provzdušňování dochází poté i ve vodovodních řádech, kde zároveň dochází i k lepšímu promíchávání činidla s upravenou vodou. Návratnost těchto projektů je většinou okolo 5 let. [33]

**Ekologický aspekt** a dopad na životní prostředí je probírán u každého zdroje elektrické energie. Tak jako každý zdroj elektrické energie, tak i vodní elektrárny se posuzují z hlediska dopadu na životní prostředí. Vliv malých vodních elektráren na životní prostředí se v průběhu let mění. Při výstavbě primárně záleží na výběru umístění stavby. Mnohdy se musí budovat složitá infrastruktura, která si vyžaduje zásah do krajiny. Dalším negativním dopadem je budování přivaděče, který zabírá velké množství půdy, ale v dnešní době už se takové přivaděče nebudují, primárně z ekonomických důvodů. Mohou také existovat i takové projekty, v kterých naopak nedochází prakticky k žádným zásahům do přírody, protože se vodní soustrojí umísťují do jezových pilířů. Za dobu svého provozu, jsou MVE zdrojem čisté energie. Nevypouštějí do ovzduší škodlivý  $\text{CO}_2$  a tím přispívají ke snížení emisí a ochraně ozónové vrstvy. Zároveň šetří vodou, kterou ke své výrobě tepelné elektrárny potřebují. Taky slouží ke snížení množství energie vodního toku, což má za následek snížení vymílání břehů. Jestliže je nános na česlích vodní elektrárny správně likvidován, dochází pomocí MVE i k čištění vodního toku. Většina MVE je v průběhu let rekonstruována, pokud to místní hydroenergetické podmínky dovolují a budou stále ekonomicky výhodné. Během rekonstrukce se musí dbát zvýšené opatrnosti při manipulaci s mazivy a podobnými látkami, které by mohly mít negativní dopad na vodní tok. V případě, že dojde k náhlému přerušení provozu MVE, může se zvýšit energie vodního toku, což si bude vyžadovat nákladné opravy na úpravu vodního toku.

Ve vodárenských systémech se nachází pár **vhodných umístění**, kde by se daly takové MVE umístit. Využívá se zde velké množství řídicích a regulačních prvků a vodovodní řád je rozdělen do různých tlakových pásem. Ve velké části vodovodní sítě je nutnost regulovat tlak protékající vody, nebo snížit její průtok. Tato změna tlaku je prováděna mařením přebytečné energie vody, která by mohla být přeměněna na energii elektrickou. Regulační armatury k řízení tlaku, by mohly zastoupit MVE, které by byly schopny energii vody přeměnit na energii elektrickou.[33]

#### **Vysvětlivky:**

ČS - čerpací stanice

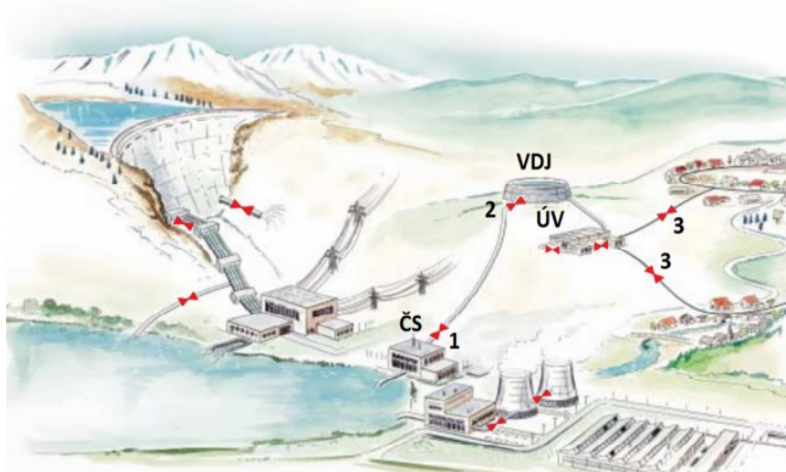
VDJ - vodojem

ÚV - úpravna vody

1 - redukční armatura průtoku

2 - redukční armatura pro udržení  
výšky hladiny vodojemu

3 - redukční armatury tlaku

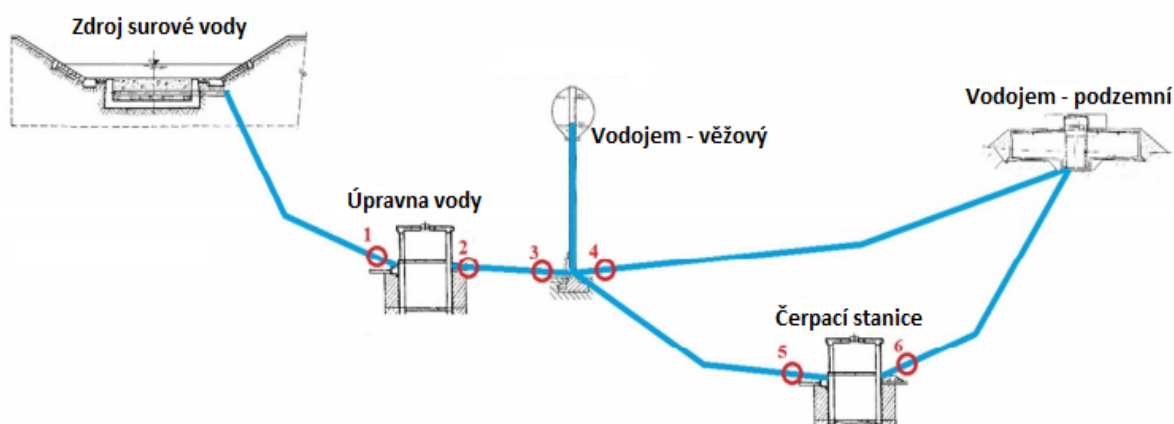


**Obr. 18.** Vhodné umístění regulačních armatur [64]

Na Obr. 17. můžeme vidět 3 způsoby užití regulačních armatur, z těchto třech umístění vyplývá zároveň jejich funkce, kterou ve vodovodní síti plní: [33]

- **regulace tlaku, bod 1** – zde probíhá základní regulace průtoku množství vody, při vyšších spádech. Touto regulací se eliminují náběhové tlakové špičky, nežádoucí hluky nebo škody na potrubí vlivem kavitace eroze.
- **regulace hladiny vody, bod 2** – během plnění vodojemů je potřeba zabezpečit maření energie vody a regulovat průtok, dle aktuální potřeby hladiny vody. Vše se odvíjí od aktuální spotřeby vody.
- **regulace průtoku, bod 3** – za těmito dvěma body jsou vesnice, které se nachází vzhledem k čerpací stanici v jiných nadmořských výškách. V takovém případě je nezbytné užití, regulačních ventilů, abychom mohli nastavit různá tlaková pásma.

Na Obr. 17. bylo ukázáno, kde by bylo vhodné nahradit regulační armatury malými vodními elektrárnami. Ale ve vodárenských systémech se nabízejí další místa, kde je vhodné umístit MVE. Na Obr. 18. jsou zaznačeny body, v kterých by bylo vhodné MVE umístit. Nejedná se vždy o místa vhodná jen z pohledu vysokého spádu nebo průtokových poměrů, ale v těchto místech probíhá i zlepšení míšení příměsí, které se přidávají do pitné vody. Jedná se o bod 2, který se nachází přímo za úpravnou vody. Ve zbývajících bodech 1, 3, 4, 5, 6 se využívá velkých spádových hodnot vodovodního rozvodu. [33]



**Obr. 19.** Místa vhodná k umístění MVE [65]

### 8.3.2. Využití MVE v Severomoravských vodovodech a kanalizacích Ostrava

K roku 2019 bylo v provozu celkem 7 malých vodních elektráren v úpravnách vody a vodojemech. V tomto roce tyto MVE vyrobily celkem 3,98 GWh, což je meziroční pokles, který byl zapříčiněn rekonstrukcí malé vodní elektrárny v největší beskydské úpravně vody v Nové Vsi u Frýdlantu nad Ostravicí. Tato rekonstrukce za 125 miliónů korun bude mít za následek další navýšení výkonu. I přesto byla tato malá vodní elektrárna v tomto roce ze 45 % soběstačná. V celkovém pohledu výroby elektrické energie MVE v areálech úpraven vody a vodojemech, vyrobily **107 % elektrické energie na vlastní spotřebu**. Což je velké ekonomické plus pro tyto provozovny. [34]



Malé vodní elektrárny se budují na přivaděčích surové vody, což jsou většinou elektrárny, které se nachází přímo v areálu úpravy vody. Provoz je zde stálý a efektivní z důvodu stálého spádu a průtoku vody. MVE jsou také na přivaděčích pitné, což jsou zařízení s nižším výkonem. Elektrická energie je spotřebována přímo na místě, nebo se její přebytek dodává do sítě. Jak již bylo zmíněno, nachází se v SmVaK Ostrava 7 malých vodních elektráren, 3 z nich jsou umístěny v provozech úpraven pitné vody. **MVE Podhradí**, byla uvedena do provozu v roce 2014, **75 % veškeré elektrické energie**, kterou vyrobí, je spotřebována pro vlastní provoz přilehlé úpravy vody, zbytek elektrické energie je dodán do sítě. MVE Podhradí je napájena surovou vodou z vodního díla Kružberk a Slezské Harty. **MVE Nová Ves u Frýdlantu nad Ostravicí**, je nejstarší vodní elektrárnou, která byla uvedena do provozu v roce 1993. Je napájena surovou vodou z vodního díla Šance. Jak již bylo zmíněno, v roce 2019 prošla rekonstrukcí a byly zde vyřazeny z provozu 2 původní turbíny o výkonu 200 kW a byly nahrazeny jednou průtokovou turbínou s výkonem 463 kW. Poslední z malých vodních elektráren, které se v SmVaK Ostrava nachází u přilehlých úpraven vod, je **MVE Vyšní Lhoty**. Tato elektrárna je napájena surovou vodou z vodního díla Morávka. Tato MVE byla schopna v roce 2019 vyrobit více než dvojnásobek elektrické energie, kterou sama potřebuje ke svému provozu přilehlá úprava vody. [34]



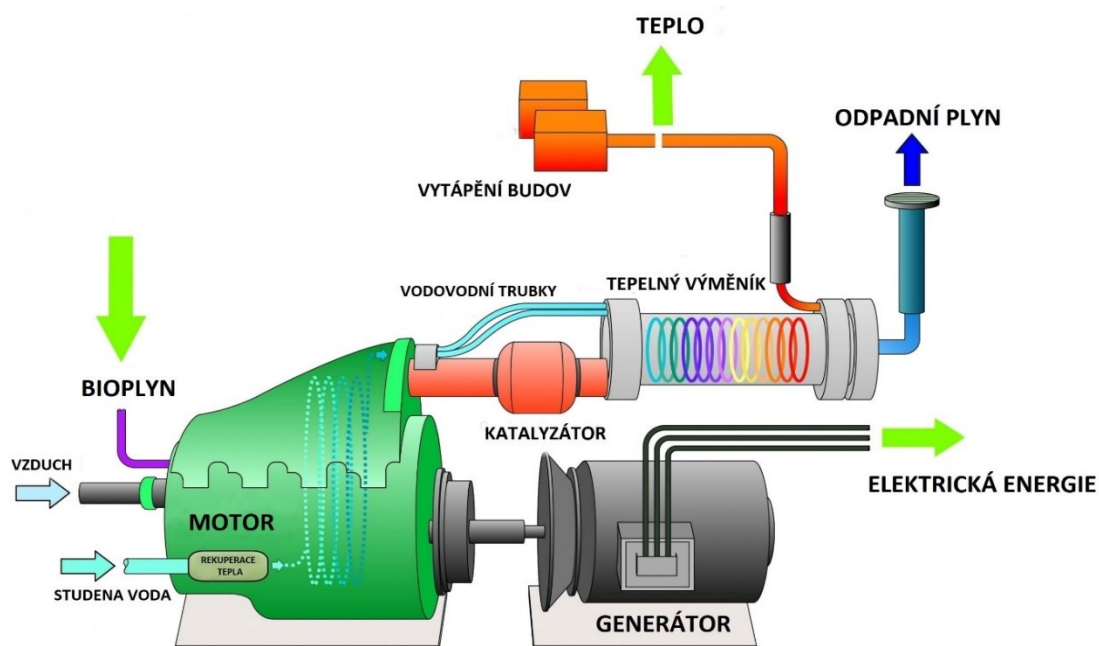
**Obr. 20.** Vodní dílo Šance [66]

V případě vodojemů je velikost poměru vyrobené energie ke spotřebované elektrické energii mnohonásobně vyšší. V **Bílově** MVE umístěna u vodojemu vyrobila v roce 2019, 5 a půl krát více elektrické energie, než sám potřebuje vodojem ke svému provozu. V **Krásném Poli u Ostravy** to byl 2 násobek elektrické energie, v **Zelinkovicích** se jednalo o 8 a půl násobek a nakonec MVE ve **Frýdku** dokázala vyrobit 22 krát více elektrické energie, než vodojem potřebuje ke svému provozu. [34]

Provoz malých vodních elektráren ve vodárenských systémech má smysl. Hlavním důvodem je energetická soběstačnost, která je pro takové provozy žádanou. Tato soběstačnost se odráží i na celkové ceně elektrické energie, jelikož provozovatel nemusí elektřinu nakupovat, ale mnohdy ji sám dodává do sítě. Důležitý aspekt je i ten ekologický, vodní elektrárny všeobecně tvoří zdroj „čisté“ elektrické energie, jelikož jejich provoz neprodukuje žádné emisní plyny. V roce 2016 se SmVaK Ostrava rozhodl přijmout normu ČSN ISO 14064-1, která se zabývá sledováním vlastní uhlíkové stopy a tu se bude snažit postupně snižovat, také tato společnost jako druhá ve vodohospodářství v České republice přijala normu ČSN ISO 50001, která se zaměřuje na nakládání s energiemi a tímto chce zvýšit účinnost provozu. SmVaK Ostrava má vytipována další možné lokality na umístění malých vodních elektráren a snaží se o jejich realizaci. [34]

### 8.3.3. Napájení pomocí kogeneračních jednotek

V případě úpraven vody, jsou primárním zdrojem vlastní spotřeby „čisté“ elektrické energie malé vodní elektrárny. U ČOV můžeme považovat za takový zdroj elektrické, ale i tepelné energie bioplyn. V čistírnách odpadních vod vzniká bioplyn při anaerobní fermentaci čistírenských kalů ve vyhnívacích nádržích. Odpadní voda je po mechanickém předčištění vedena do usazovacích nádrží. Primární kal z usazovacích nádrží je zahuštěn a následně odveden do vyhnívacích nádrží, kde dochází k vzniku bioplynu. Odpadní voda z usazovacích nádrží je dále vedena do biologického čištění. Nejdříve voda prochází anaerobním a poté aerobním procesem. Při aerobním procesu musí být stále vháněn vzduch pomocí dmychadel. Tento proces je energeticky nejnáročnějším v celé ČOV. Je to zároveň nejdůležitější část ČOV, jelikož v obou procesech jsou využívány bakterie, které odbourávají z vody organické znečištění. Bakterie nesmí v těchto procesech umřít, jak již bylo zmíněno výše a v případě výpadku elektrické energie je primární napájení právě celého biologického procesu. Sekundární kal, který vzniká po tomto procesu, pak putuje do vyhnívacích nádrží, kde je anaerobně stabilizován a vyhříván na teplotu 38°C. Bioplyn, který vzniká ve vyhnívacích nádržích, je poté uskládňován v plynojemech. [26]



Obr. 21. Princip kogenerační jednotky [67]



Při výpadku elektrické energie, může ČOV přejít do ostrovního režimu a elektrickou a tepelnou energii vyrábět právě pomocí bioplynu v kogeneračních jednotkách. V České republice takto například funguje ČOV v Českých Budějovicích. Jelikož je bioplyn vedlejším produktem čištění odpadních vod, tak většina ČOV v České republice využívá kogeneračních jednotek k výrobě tepelné a elektrické energie. Dříve docházelo k vypouštění bioplynu do ovzduší. Elektřina se využívá k napájení technologie, čímž se snižují náklady na provoz. Tepelná energie, která se vyrobí kogenerací, se využívá právě k vyhřívání vyhnívacích nádrží, nebo přilehlých objektů. Účinnost kogenerační jednotky, která jako palivo využívá bioplyn, se pohybuje okolo 86 %, přičemž 50 % je energie tepelná a 36 % je energie elektrická. [26]

Nejvhodnějším řešením v případě blackoutu, je pokrýt vlastní spotřebu z vlastních zdrojů a stát se tak nezávislým na napájení ze sítě. Takový provoz, který dokáže vyrobit takové množství energie, co potřebuje na vlastní provoz, se nazývá energeticky autonomní. Autonomnosti ohledně tepelné energie, je dosaženo v mnoha provozech, ale celkové energetické autonomnosti lze dosáhnout jen v technologicky pokročilých zařízeních. Plné autonomie lze dosáhnout primárně ve velkých ČOV, ale musí zde být instalovány drahé filtry, které sníží spotřebu elektrické energie turbodmychadel. Příkladem plného autonomního provozu je ČOV v Německém Braunschweigu, tohoto provozu je dosaženo třemi velmi účinnými kogeneračními jednotkami a třem nezávislým zdrojům plynu. Zdroji plynu jsou: plyn ze skládky odpadu, bioplyn z fermentace bioodpadu a bioplyn ze samotné ČOV. [26]

Tab. 10. Elektrická autonomnost provozu [26]

Počet ekvivalentních obyvatel	Autonomnost
<10 000	25 – 35 %
>100 000	68 – 100 %

Z tabulky jasně vyplývá, že čím větší je ČOV, tak stoupá její účinnost a tím celková autonomnost. V případě přechodu do ostrovního režimu, je vždy potřeba odpojit zbytečné spotřebiče. 100% autonomnosti však dosahují jen nejmodernější ČOV, které jsou vybaveny technologicky pokročilými filtry, které dokáží snižovat spotřebu turbodmychadel.

Jak bylo uvedeno výše, do ostrovního režimu u nás dokáže přejít například ČOV v Českých Budějovicích. Tato ČOV slouží pro 375 000 EO a je vybavena dvěma kogeneračními jednotkami s výkonem 512 kW. Při přechodu do ostrovního režimu je schopen tento výkon pokrýt zhruba 2/3 elektrické energie pro vlastní spotřebu ČOV. V blízkosti se nachází také úprava vody, která je rovněž napájena pomocí kogeneračních jednotek. Jelikož výroba elektrické energie je nižší než spotřeba elektrické energie ve vlastní spotřebě, je potřeba vypojit některá zařízení. V tomto případě odpojují zařízení s největší spotřebou, což jsou turbodmychadla. Tímto se sníží produkce sekundárního kalu, ale pořád je zachován přívod primárního kalu, který je potřeba pro výrobu bioplynu. Postupně se bude zhoršovat biologický stupeň čištění a za 36 – 48 hodin se zároveň zhorší kvalita vypouštěné vody. ČOV by měla být schopna vydržet v takovém provozu právě 2 dny, po obnovení dodávky elektrické energie se vypne ostrovní provoz a automaticky se celý provoz napojí na síť. [26]

V SmVaK Ostrava je funkčních celkem 11 kogeneračních jednotek v 8 největších ČOV. Tyto kogenerační jednotky v provozech ČOV pomocí bioplynu z vlastní produkce, v roce 2019 vyrobily 4,9 GWh elektrické energie. Opavská ČOV za sledované období, pomocí kogenerace **vyrobila 85 % elektrické energie** pro vlastní spotřebu. V Karviné to bylo například **50 % elektrické energie**. V celkovém pohledu, kogenerační jednotky zajistily více než 1/3 spotřeby elektrické energie v daných provozech. [34]

## 9. Návrh možného nouzového napájení vodárenských provozů

V posledních letech je téma využití obnovitelných zdrojů v energetice jednou z nejprobíranějších otázek budoucnosti. Se zvyšujícím povědomím ohledně životního prostředí a patrnějšími důkazy ohledně globálního oteplování si začínáme uvědomovat křehkost celého ekosystému. Fosilní paliva jsou stále naším primárním zdrojem pro výrobu elektrické energie. Jelikož jsou elektrárny spalující fosilní paliva zdrojem oxidu uhličitého, který má vážný dopad na globální oteplování, mnoho zemí postupně tyto elektrárny uzavírá. Adekvátní náhradu se snaží najít právě v OZE. Jako příklad poslouží Německo, které se zavázalo k uzavření uhelných elektráren a místo nich buduje větrné parky. I vodárenství se snaží hledat ekologičtější cesty ke svému provozu. A stát se díky těmto inovacím ekologičtějšími a energeticky soběstačnými.

### 9.1. Napájení pomocí větrných elektráren

Větrné elektrárny se dají použít ve vodárenských procesech stejně jako malé vodní elektrárny. VTE nabíjí baterie a v případě naplnění jejich kapacity se dodává elektrická energie do sítě. V případě výpadku může přejít úprava vody nebo ČOV do ostrovního režimu. Jestliže je výkon VTE dostatečně velký, může celý provoz pokračovat bez změny. Větrné elektrárny se musí umisťovat do blízkostí úpraven vody nebo ČOV, což mnohdy může způsobovat problém, jelikož nejsou zde prostory k jejich umístění. Dalším problémem je nevyzpytatelnost větru. V každém místě je potenciál větrné energie rozdílný a vždy závisí na jeho rychlosti. Aby větrný potenciál byl dostatečný, měly by se větrné elektrárny umisťovat na místa, která mají roční průměrnou rychlost větru vyšší než 5,6 m/s. Rychlost větru je i přesto nevyzpytatelná a liší se denní dobou, nebo ročním obdobím. V zimních měsících je průměrná rychlost větru vyšší než v létě a také se liší rychlost větru během dne a noci, kdy denní rychlost dosahuje větších hodnot.

Všeobecně **ekologický aspekt** větrných elektráren je věčné téma. Jako jeden z obnovitelných zdrojů elektrické energie, jsou samy o sobě větrné elektrárny zdrojem čisté elektrické energie, které při své výrobě neprodukují žádný skleníkový plyn a nevypouští škodliviny do ovzduší. Větrné elektrárny však mají neblahý vliv na celou přenosovou soustavu, kterou nerovnoměrně zatěžují. Nedá se přesně odhadnout rychlost větru a s ní související nárůsty a poklesy výroby elektrické energie. Větrné elektrárny způsobují také dva typy hluku, aerodynamický a mechanický. Mechanický hluk je přirozeným hlukem, který způsobuje strojovna, avšak aerodynamický hluk je způsobován obtékáním vzduchu okolo listů větrné elektrárny. Tento hluk je periodický a může neblaze působit primárně na psychiku obyvatelstva. Mezi obyvateli je také velice kontroverzní umisťování větrníků do krajiny a tak narušení jejího rázu. V našich podmínkách by přicházelo v úvahu umisťování větrných elektráren primárně na pohraniční hory, ale tyto projekty jsou v drtivé většině smeteny ze stolu ochránci přírody. V poslední řadě je likvidace samotné elektrárny po uplynutí její životnosti. V dnešní době je zatím velkým problémem ekologická likvidace samotných listů VTE.

Ve Velké Británii jsou například umístěny 3 větrné elektrárny ve vodárenských provozech v městě Kingston upon Hull. Jedna větrná elektrárna je umístěna v čistírně odpadních vod a dvě jsou umístěny v úpravně vod. Jedná se o větrné elektrárny značky Nordex s výkonem jedné turbíny 1,3 MW a průměrem rotoru 60 m. [35] [36]



**Obr. 22.** Saltend Wastewater Treatment Works [68]

Například ve Spojených Státech se nachází v Atlantic City větrná farma Jersey – Atlantic Wind Farm, která je první pobřežní větrnou farmou v USA. Nachází se zde 5 větrných turbín značky General Electric o celkovém výkonu 7,5 MW. Tato větrná farma se nachází v areálu čistírny odpadní vody Atlantic County Utilities Authority Wastewater Treatment Facility. Tato čistírna využívá 50 % z celkového množství elektrické energie, kterou vyrobí tato větrná farma, což je zhruba 60 % celkové spotřeby této ČOV. Zbytek elektrické energie dodává větrná farma do elektrické sítě. [37]



**Obr. 23.** Atlantic County Utilities Authority Wastewater Treatment Facility [69]

V České republice zatím ve vodárenství není větrná energie využívána jako zdroj elektrické energie. U některých úpraven vody by to však možné bylo, jelikož se nachází v blízkosti pohoří, kde jsou větrné podmínky příznivější, a v okolí se nenachází občanská zástavba. Pro potřeby ČOV, by bylo také možné vybudovat VTE. Například ČOV v Ostravě Přívoze se nachází poblíž dálnice a v nejbližším okolí se nenachází obytná zástavba. Jestliže by se zjistilo, že zdejší povětrnostní podmínky jsou energeticky výhodné pro výstavbu VTE a získaly by se všechna nutná povolení, získala by ČOV čistý doplňkový zdroj elektrické energie. Bylo by však nutné zpevnit podloží z důvodu podmáčené půdy. V dnešní době je ČOV v Ostravě Přívoze provozována pro **350 000 EO**, roční spotřeba elektrické energie tak velké čistírný odpadních vod se pohybuje okolo **25 kWh/EO za rok**, což je přibližně **8 750 MWh/rok**. Kdybychom zde vybudovali moderní VTE s jmenovitým výkonem **2 MW**, v našich zeměpisných šířkách je nám schopna vyrobit **4 430 MWh/rok**. Cena takové stavby se pohybuje okolo 80 miliónů korun. Vítr ovšem nefouká vždy, když potřebujeme, takže odkázat se jen na větrnou energii je nemožné. Tuto nevýhodu by mohlo vyřešit ukládání elektrické energie do baterií. V případě přebytků elektrické energie by se mohla prodávat elektřina do distribuční sítě, nebo ji akumulovat do baterií, například pro případ blackoutu. Je ovšem nutné, aby VTE stály blízko vodárenských objektů, aby bylo možné přejít do ostrovního provozu. [38] [39]



**Obr. 24.** Letecký pohled na ČOV v Ostravě Přívoze [70]

## 9.2. Napájení pomocí solárních panelů

S postupným vývojem a zvyšováním výkonů jednotlivých panelů solárních elektráren, se stávají vhodným zdrojem čisté elektrické energie. Ve vodárenství je jejich využití možné a měly by se postupně ve větší míře využívat na výrobu elektrické k vlastní spotřebě. V areálech a přilehlém okolí úpraven vody a ČOV se mnohdy nachází velké množství místa, které by mohlo být osazeno fotovoltaickými panely. Mezi další vhodná místa, která by mohla sloužit pro umístění panelů, jsou například střechy budov. Jednou z možností je také zastřešení akivačních nádrží, na které by se dalo solární panely umístit. Jelikož je nutné dodávat elektrickou energii během celého dne, je nezbytné vybavit fotovoltaické panely bateriemi, které se budou v průběhu dne nabíjet a večer dodávat zařízení potřebnou elektrickou energii. Tohoto, lze využít i pro případnou ochranu před výpadkem elektrické



energie. Solární panely by mohly nabíjet baterie a zbytek elektrické energie dodávat do sítě. V případě výpadku elektrické energie, by přešel provoz do ostrovního režimu a čerpal elektřinu z nabitých baterií.

Účinnost standartních solárních panelů se pohybuje v rozmezí 12 – 17 %. S vývojem se zvyšuje i účinnost fotovoltaiických panelů, která se v dnešní době dostala až na 25 %. Toto zvyšování má, ale i svou hranici, což je účinnost 34 %, která je fyzikální hranicí pro výrobu elektrické energie ze Slunce. Účinnost panelů se odvíjí od mnoha faktorů, jedním z hlavních jsou klimatické podmínky a doba denního svitu. Je také důležité, aby byl solární panel instalován s vhodným sklonem, pod kterým na něj budou sluneční paprsky dopadat. Nutností pro provoz solárních elektráren, je střídač, jelikož solární panely vyrábí stejnosměrný proud. V dnešní době, nám dokáže solární panel s výkonem 1000 Wp vyrobit ročně 1 MWh elektrické energie. Opět záleží na jejich umístění, na jižní Moravě bude vyrobená elektrická energie vyšší než na severu, kde je větší úhrn srážek. [40]

**Z hlediska ekologie** je solární energie opět bez emisní zdroj, což má za následek snižování produkce CO<sub>2</sub>. Jejich provoz je prakticky bezobslužný, až na jejich čištění, nebo ometání sněhu. Také nejsou zdrojem žádného hluku, což znamená, že svým provozem nemají dopad na nejbližší okolí. Avšak solární elektrárny by se měly primárně budovat na místech, kde je jejich potenciál plně využit, jelikož pro větší produkci elektrické energie potřebují obrovskou plochu. Také u nás v České republice jsou vybudovány fotovoltaiické elektrárny, ale větší perspektivnost je využití solárních panelů pro domácnosti, nebo právě pro samostatné provozy, jako jsou například úpravný vody, nebo čistírny odpadních vod.

V České republice dopadne na m<sup>2</sup> průměrně 1000 – 1300 kWh sluneční energie za rok. 75 % sluneční energie dopadne v našich zeměpisných šířkách v létě, zbývajících 25 % se rozděluje do ostatních ročních období. [41]

Tab. 11. Průměrná doba slunečního svitu za rok [42]

Město	Celkový počet hodin slunečního svitu/rok
Znojmo	1715
Ostrava	1446
Ústí nad Labem	1197

Ve městě Fayetteville ve státě Arkansas vznikl projekt, který je rozsáhlým systémem na ukládání elektrické energie, která je vyrobena ze slunce. Tento projekt vznikl na ochranu planety Země, aby budoucí generace měly čisté životní prostředí. Město se také snaží, aby do roku 2030 produkoval jen nízko emisní a nízko nákladovou energii. Projekt za 23 milionů dolarů se skládá z třech solárních elektráren o výkonu 10 MW a dvou bateriových zařízení s kapacitou 24 MWh umístěných poblíž vodohospodářských zařízení. Když elektřina vyrobena v solárních elektrárnách překročí hranici poptávky z vodárenských provozů, je distribuována do sítě nebo je uložena v bateriích pro využití v energetických výrobních špičkách. Díky tomuto projektu ušetří město 180 000 dolarů ročně. [43]

V Irsku se například snaží celkově snížit ve vodárenství náklady na elektrickou energii, budováním fotovoltaických panelů. Solární panely se například jako ideální řešení na snížení spotřeby a redukci produkce CO<sub>2</sub> použily poblíž města Elphin. Náklady na energie pro úpravnu vody by se měly snížit o 70 %. V budoucnu bude zde možno integrovat baterie na uskladňování elektrické energie. Úpravna vody by se tak stala 100 % soběstačnou. Podobné projekty jsou po celém Irsku. [44]

Pomocí solárních panelů se také snaží Irsko vypomoci v rozvíjejících zemích, které mají problémy s odpadními vodami. Výstavbou solární elektrárny s výkonem 7,5 MW v severní Gáze, bude zajištěna „čistá“ elektrická energie pro čistírnu odpadních vod NGEST. Podle organizace WHO je 97 % zásobování vody v Gáze nevhodné pro lidské potřeby. Až ¼ všech chorob je zde důsledkem špatné kvality vody a špatným přístupem k ní. Tento projekt, který se nazývá NGEST nahradí veškerou spotřebu nafty na provoz této čistírny odpadní vody a přebytečnou elektrickou energii bude elektrárna dodávat do dalších vodárenských a odpadních zařízení v blízkém okolí. Problémem znečištění vod a nedostatkem elektrické energie v rozvíjejících oblastech se zabývají různé projekty, které se snaží tento problém vyřešit právě pomocí solárních panelů. [45]



**Obr. 25.** Northern Gaza Emergency Sewage Treatment (NGEST) [71]

Pro příklad nám opět poslouží ČOV v Ostravě Přívoze, stejně jako pro VTE. Na obrázku Obr. 24. můžeme vidět, že potenciál sluneční energie je zde opravdu velký. Střechy a celý areál ČOV nabízí dost možností na umístění solárních panelů. Přilehlá pole, která jsou z důvodu dopravní infrastruktury prakticky nevyužitá, také nabízí možnost umístění solárních panelů. Problém nastává v případě řeky Odry, která tuto část Ostravy dělá záplavovou oblastí. V projektování solárních panelů by se muselo s tímto faktem počítat. Je zde dostatek místa pro vybudování fotovoltaické elektrárny, která by mohla sloužit společně s bateriemi jako náhradní zdroj elektrické energie v případě výpadku. Počet článků a jejich výkon závisí

na investičních možnostech provozovatele daného vodárenského provozu. Jestliže budeme uvažovat, že požadovaná roční výroba je 2 MWh, což tvoří zhruba 1/4 roční spotřeby, tak v případě instalace solárních panelů s výkonem 360 Wp jich budeme potřebovat okolo 5 500. Investiční náklady na výstavbu takové projektu by se pohybovaly v stovkách miliónů korun. Bylo by nutné vybudovat navíc akumulací systém, aby se dala elektrická energie ze solárních panelů využívat i v noci a případně využít jako záloha při blackoutu.

### 9.2.1. Akumulační bateriové systémy

Problémem současné energetiky a výzvou do budoucna je ukládání elektrické energie do akumulací baterií. V dnešní době existují velké akumulací baterie, ale jejich užívání pro potřeby energetiky je v počátcích. Řešením tohoto problému by mohly být dotace a platby za udržování zálohy v případě výkonové nerovnováhy v přenosové soustavě.

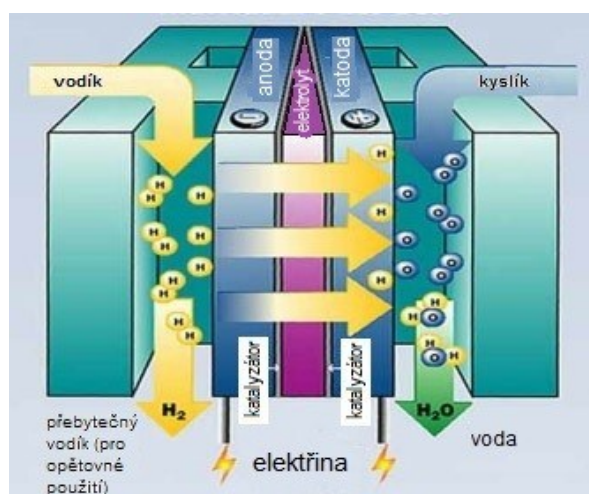
Velkou akumulací baterii využívá například společnost E.ON Česká republika v energetickém areálu v Mydlovarech. Tato baterie typu Li-Ion má jmenovitý výkon 1 MW a kapacita článku je stanovena na 1,75 MWh. Investice se pohybovala okolo 25 milionů korun. Podobnou baterii vlastní i společnost ČEZ v areálu Elektrárny Tušimice. Baterie má výkon 4 MW a kapacitu 2,8 MWh. Taková baterie by mohla sloužit například jako hodinová rezerva pro čistírnu odpadních vod pro 80 000 EO, která by přešla do režimu na záchranu aktivovaného kalu. [46] [47]

### 9.3. Napájení pomocí palivových článků

Tento zdroj elektrické energie je zdrojem budoucnosti. Palivový článek přeměňuje chemickou energii uloženou v palivu a oxidačním činidle na elektrickou energii. Technologie palivových článků je oproti přeměně uhlíkového paliva na energii pomocí spalování 2 krát účinnější. Palivem těchto článků je vodík, který se v přírodě vyskytuje ve velkém množství. Vesmír je tvořen z 90 % vodíkem a je třetím nejhojnějším prvkem na zemském povrchu. Takové velké množství paliva by lidstvu poskytovalo čistý, spolehlivý, nehořlavý a efektivní zdroj elektrické energie. [48]

Vodík s sebou nese, ale určitá úskalí. Vodík je vázán s jinými látkami a na jeho výrobu je potřeba téměř stejné množství energie, jako on sám nám potom může dodat. Vodík se nejčastěji získává z fosilního paliva, z kterého se uvolňuje zbylý uhlík, ale tato reakce je menší zátěž pro životní prostředí než samotný spalovací motor. Náklady na takový proces jsou téměř stejné nebo vyšší, než kdybychom tyto fosilní paliva spálili. Dalším problémem je skladování vodíku, které je velmi náročné a vyžaduje specifické podmínky. Na

přelomu tisíciletí se věřilo, že palivové články změní svět. Tisíce organizace investovalo prostředky na vývoj této technologie. V dnešní době jsou palivové články hojně využívány, ale není to v takové míře,



Obr. 26. Princip palivového článku [72]



jako se očekávalo. Snížením nákladů a vývojem technologie vodíkové energie se snad vyřeší úskalí, která tento čistý zdroj elektrické energie s sebou nese a stane komerčním zdrojem elektrické energie, jako jsou například solární panely. [48]

Velšská společnost Hydro Industries spolupracuje se společností Intelligent Energy na technologiích palivových článků pro Indii. V Indii jsou časté výpadky elektrické energie, společnost Intelligent Energy nabídla řešení pomocí palivových článků pro telekomunikační věže po celé Indii. Nahradí tak dieselagregáty a budou tak čistším a tišším náhradním zdrojem elektrické energie. Elektřina z palivových článků se také využívá právě na úpravu vody, která je ovládána pomocí softwaru na velké vzdálenosti. Jelikož je Indie jednou z nejrychleji rozvíjejících se ekonomik, bude zde poptávka po pitné vodě stoupat. [49]

#### 9.4. Akumulace vzduchu na ČOV do nového plynojemu

Jednou z možností ekologičtějšího a zároveň nouzového napájení by mohlo být ukládání vzduchu do plynojemu. Celý princip by fungoval tak, že při nízkém tarifu bychom plynojem přes dmychadlo naplnili vzduchem. Při vyšším tarifu bychom využili vzduchu z plynojemu, pro potřeby aktivací nádrže. Tento plynojem by mohl také fungovat jako vzduchová rezerva pro případný blackout. Při výpadku elektrického proudu bychom mohli využít vzduchu uchovaného v plynojem na záchranu aktivovaného kalu.



*Obr. 27. Plynojem s kapacitou 2 100 m<sup>3</sup> [73]*

Kdybychom takový plynojem chtěli provozovat na ČOV Ostravě Přívoze, jednoduchým výpočtem bychom mohli ověřit jeho schopnost zachránit aktivovaný kal. Plynojem by byl naplněn vzduchem pomocí dmychadla a uchován pro případný blackout. Pro výpočet potřebujeme vědět, že **2 100 m<sup>3</sup>** vzduchu je zhruba **2 700 kg**. Vzduch obsahuje **21 % O<sub>2</sub>**, což znamená, že v plynojem se nachází **567 kg O<sub>2</sub>**. Udává se, že **1 EO na biochemickou oxidaci spotřebuje 0,03 kg O<sub>2</sub> za den. Cože je 0,00125 kg O<sub>2</sub> za hodinu na 1 EO**. ČOV v Ostravě Přívoze čistí vodu pro **350 000 EO**, za hodinu tím pádem spotřebuje **437 kg O<sub>2</sub>**. Takový plynojem by dokázal v případě výpadku, nahradit dmychadla na více než hodinu, při plném průtoku vody. Jestliže bychom snížili průtok vody ČOV nahradil by tento plynojem dmychadla v řádu několika hodin. Investice do takové stavby se pohybuje okolo 3,5 miliónů korun, návratnost takového projektu by se musela uskutečnit zařazením plynojemu do běžného provozu a využívat nízkých tarifů pro jeho naplnění a využití vzduchu během vyššího tarifu. [50]

## 10. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zanalyzovat energetiku ve vodárenství a zjistit zdali jsou vodárenské procesy připraveny na případný rozsáhlý výpadek elektrické energie. Riziko blackoutu je z mnoha důvodů stále reálnější a aktuálnější. Stálý růst světové populace a rozvíjející se ekonomiky kladou stále větší nároky na výrobu a přenos elektrické energie. V našich střeoevropských podmínkách je největší riziko vzniku blackoutu způsobeno negativními přírodními vlivy na zařízení elektrizační soustavy. Výpadek elektrické energie ve vodárenských procesech, který by nebyl patřičně zálohován, by měl obrovský dopad na obyvatelstvo a životní prostředí. Během dlouhodobého výpadku čistírny odpadní vody by došlo k znečištění vodních toků, což by mohlo mít velké ekologické dopady na životní prostředí. Výpadek úpravny vody by vedl k nedostatku pitné vody a k zhoršení hygienických potřeb pro obyvatelstvo. Z těchto důvodů je nutné, aby vodárenské společnosti byly na tento možný stav připraveny.

V současné době vodárenské společnosti pořádají cvičení, v kterých simulují výpadky elektrické energie. V rámci provozních řádů si připravují jednotlivé postupy, podle kterých v případě problémů s dodávkou elektřiny budou postupovat. Jako záložní zdroje se v dnešní době primárně využívají mobilní nebo stacionární elektrocentrály. Některé vodárenské společnosti mají pro takové případy vlastní čerpací stanici pohonných hmot, aby byly plně nezávislé na dodávce paliva. Využívají se také mobilní úpravy vody, které dokáží vyrobit pitnou vodu například z řeky. Nouzové napájení pomocí obnovitelných zdrojů není u nás velmi rozšířené, jelikož je jen málo vodárenských provozů, které jsou schopny v případě potřeby přejít do ostrovního provozu. Tuto možnost má například čistírna odpadních vod v Českých Budějovicích, která dokáže v případě potřeby přejít do ostrovního režimu a pomocí kogeneračních jednotek napájet provoz čistírny odpadní vody a přilehlé úpravy vody. Obnovitelné zdroje elektrické energie se však využívají, jako zdroj energie při běžném provozu, zvyšuje se tak energetická soběstačnost provozu. V úpravách vody se primárně využívá energetického potenciálu vody pro výrobu elektrické energie. V čistírnách odpadních vod je hlavním zdrojem energetické soběstačnosti bioplyn, který vzniká fermentací čistírenského kalu. Tento bioplyn se používá jako palivo pro kogenerační jednotky, které jsou umístěny ve velkých čistírnách odpadních vod nad 50 000 – 60 000 EO a zlepšují tak ekonomiku provozu.

Vzhledem k stále sílícímu tlaku společnosti na „čisté“ zdroje elektrické energie, jde i vodárenství cestou obnovitelných zdrojů. Ve světě se objevují projekty, v kterých se pro chod vodárenských provozů využívají větrné nebo solární elektrárny, které dokážou sloužit jako zdroj pro nouzové napájení. Připojením těchto zdrojů k akumulacím bateriím dokáží efektivně využívat jejich potenciál. Abychom však mohli tyto systémy aplikovat v provozu, je nutná možnost na přechod do ostrovního režimu. Jedním z dalších problémů jsou akumulací baterie, které vyžadují úpravu legislativy, aby jejich provozování bylo ekonomicky výhodné. Jako jedním z možných řešení v případě blackoutu pro ČOV, je snížení energetické náročnosti. V případě výpadku by ČOV procházela jen část vody, která by sloužila jako záchrana aktivovaného kalu a v případě obnovy dodávky elektrické energie, by mohla ČOV opět plnohodnotně plnit svou funkci. Další možností na záchranu aktivovaného kalu ČOV, by mohlo být vybudování nového plynojemu, který by sloužil jako náhrada dmychadel, které provzdušňují aktivační nádrže.

## Seznam použité literatury

- [1] *Voda - základ života* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://www.envic.cz/voda-zaklad-zivota.htm>
- [2] *Nedostatek pitné vody* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/denni-zpravy/z-domova/vice-nez-dve-miliardy-lidi-nemaji-zaruceny-pristup-k-pitne-vode-485114>
- [3] *Wikipedie* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD\\_strana](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana)
- [4] *Wikiskripta* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Home>
- [5] *Pitná voda* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.svas.cz/vse-o-vode/pitna-voda/>
- [6] *Vlastnosti pitných vod* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.dumazahrada.cz/bydleni/kuchyne/2010/12/29/odkud-se-bere-pitna-voda/>
- [7] *Spotřeba vody* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
- [8] *Definice tříd jakosti povrchových vod podle ČSN 75 7221* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [http://envis.praha-mesto.cz/rocenky/Pr\\_99/kap\\_021.htm](http://envis.praha-mesto.cz/rocenky/Pr_99/kap_021.htm)
- [9] *Druhy odpadních vod* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [http://poradme.se/index.php?title=Druhy\\_odpadn%C3%ADch\\_vod](http://poradme.se/index.php?title=Druhy_odpadn%C3%ADch_vod)
- [10] *Vodovody a kanalizace* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.msk.cz/cs/temata/zivotni\\_prostredi/vodovody-a-kanalizace-2733/](https://www.msk.cz/cs/temata/zivotni_prostredi/vodovody-a-kanalizace-2733/)
- [11] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1 : úprava a čištění vody*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006. ISBN 8001035344 9788001035344.
- [12] Interní materiály vodárenské společnosti
- [13] *Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [14] *Ekonomická efektivita provozu úpraven a čistíren vod* [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/ngs8oz/24824223>. Bakalářská práce. MORAVSKÁ VYSOKÁ ŠKOLA OLOMOUC, o.p.s. Vedoucí práce RNDr. Ing. Miroslav Rössler, CSc., MBA.

- [15] *Ochrana kritické infrastruktury* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/cthh/clanek/ochrana-kriticke-infrastruktury-ochrana-kriticke-infrastruktury.aspx>
- [16] *Nařízení vlády o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-432>
- [17] *Proč ochrana kritické infrastruktury v oblasti zásobování obyvatel pitnou vodou?* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.smv.cz/index.php?cmd=document&id=830>
- [18] *KOMPARACE OCHRANY KRITICKÉ INFRASTRUKTURY V ČESKÉ REPUBLICE A EVROPSKÉ UNII* [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/pewfz/Gavendova\\_Diplomova\\_prace.pdf](https://is.muni.cz/th/pewfz/Gavendova_Diplomova_prace.pdf). Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Ing. Eduard BAKOŠ.
- [19] *Výpadek elektrického proudu a jeho následky v Jihočeském kraji* [online]. České Budějovice, 2012 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/oaagfy/Diplomov\\_prce\\_-\\_Smejkal\\_Pavel.pdf](https://theses.cz/id/oaagfy/Diplomov_prce_-_Smejkal_Pavel.pdf). Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Mgr. Renata Havránková, Ph.D.
- [20] *Jaké jsou příčiny vzniku blackoutů?* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/blackout-2-jake-jsou-priviny-vzniku-blackoutu/view>
- [21] *Blackout v Česku? Vyloučit ho nelze, pravděpodobnost je ale malá* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/ekonomika/blackout-v-cesku-vyloucit-ho-nelze-pravdepodobnost-je-ale-mala-20190617.html>
- [22] *5 největších blackoutů v dějinách* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/5-nejvetsich-blackoutu-v-dejinach>
- [23] *Blackout a obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/9517-blackout-a-obnovitelne-zdroje-energie>
- [24] *5 největších blackoutů v historii: Co se děje, když zhasnou celá města?* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/5-nejvetsich-blackoutu-v-historii-co-se-deje-kdyz-zhasnou-cela-mesta/>
- [25] *Blackouty – 2. část: Významné události 21. století* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/blackouty-2-cast-vyznamne-udalosti-21-stoleti>
- [26] DOHNAL, Jakub. *WOFEX 2020: Vibration Measurement and Analysis of Hydraulic Shears* [online]. Ostrava, 2020 [cit. 2021-4-28]. ISBN 978-80-248-4422-0. Dostupné z: [http://wofex.vsb.cz/proceedings/sbornik\\_wofex2020.pdf](http://wofex.vsb.cz/proceedings/sbornik_wofex2020.pdf)

- [27] *Ostrovní elektroenergetické provozy* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.energetikainfo.cz/33/ostrovni-elektroenergeticke-provozy-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EIDzobldhBp5pDKXOCRKq3iMB8q2Z8oGSQ/>
- [28] *Emergency power system* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Emergency\\_power\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Emergency_power_system)
- [29] *EMISNÍ LIMITY* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=64901](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64901). Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.
- [30] *METODY SNIŽOVÁNÍ EMISÍ OXIDU UHLÍČITÉHO* [online]. Brno, 2007 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16778](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16778). Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. LADISLAV BÉBAR, CSc.
- [31] *VYHODNOCENÍ VLIVU TECHNICKOTECHNOLOGICKÝCH ÚPRAV NA ÚPRAVNĚ VODY NA JAKOST UPRAVENÉ VODY* [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=154642](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=154642). Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.
- [32] *Základní informace o OECD* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.mpsv.cz/zakladni-informace-o-oecd>
- [33] *Implementation of Small Hydro Power Plants in Water Facilities* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8778101/metrics#metrics>
- [34] *Voda z hor jako zdroj čisté elektřiny* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/voda-z-hor-jako-zdroj-ciste-elektriny>
- [35] *The wind power* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.thewindpower.net/>
- [36] *Renewable energy potential for the water industry* [online]. Bristol, 2009 [cit. 2021-4-27]. ISBN 978-1-84911-155-3. Dostupné z: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/291637/scho1209brof-e-e.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291637/scho1209brof-e-e.pdf)
- [37] *Jersey-Atlantic Wind Farm* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jersey-Atlantic\\_Wind\\_Farm](https://en.wikipedia.org/wiki/Jersey-Atlantic_Wind_Farm)
- [38] *Kolik energie vyrobí jedna moderní větrná elektrárna?* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://csve.cz/faq/kolik-energie-vyrobi-jedna-moderni-vetrna-elektrarna-/11>

- [39] *Spotřeba energie čistíren odpadních vod* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.huberco.cz/cz/reseni/energeticka-efektivita/obecne/cistirny-odpadnich-vod.html#4>
- [40] *Jak účinné jsou solární panely?* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/chytra-domacnost/jak-vyuzivat-solarni-energii/jak-ucinne-jsou-solarni-panely>
- [41] *MAPY -SLUNEČNÍ, DEŠŤOVÁ, NÁMRAZOVÁ A NEJNIŽŠÍCH TEPLOT V ČR* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.krytiny-strechy.cz/technicke\\_info-k-navrhovani-strech/mapy-sluncni-destova-namrazova-a-nejnizsich-teplot-v-cr/](https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/mapy-sluncni-destova-namrazova-a-nejnizsich-teplot-v-cr/)
- [42] *Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-sluncniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>
- [43] *Arkansas boots up 10-MW solar, 24-MWh storage facility in Fayetteville* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.solarpowerworldonline.com/2019/09/arkansas-boots-up-10-mw-solar-24-mwh-storage-facility-in-fayetteville/>
- [44] *Veolia helps Ireland's Group Water Scheme launch solar energy project* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.waterworld.com/water-utility-management/energy-management/article/14169271/veolia-helps-irelands-group-water-scheme-launch-solar-energy-project>
- [45] *Ireland to fund 7.5MW solar plant to treat water in Gaza* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.pv-tech.org/ireland-to-fund-7-5mw-solar-plant-to-treat-water-in-gaza/>
- [46] *Energetika: Ukládání elektřiny*, Jan Kořán. 70. 2020.
- [47] *ČEZ ZAHÁJIL PROVOZ 4MW BATERIE V RÁMCI SPOLEČNÉHO PILOTNÍHO PROJEKTU S ČEPS* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-zahajil-provoz-4mw-baterie-v-ramci-spolecneho-pilotniho-projektu-s-ceps-69165/index.shtml>
- [48] *Jak fungují palivové články?* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [49] *Hydro Industries water purification technology for India, powered by fuel cells* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/37550/hydro-industries-water-purification-technology-for-india-powered-by-fuel-cells/>

- [50] *PROBLEMATIKA DIMENZOVÁNÍ AERACE NA ČOV* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=108841](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=108841). Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA.

## Seznam použitých ilustrací

- [51] *Oběh vody* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Watercycleczechhigh.jpg>
- [52] *Únik znečištěné vody z opuštěného dolu* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://d39-a.sdn.cz/d\\_39/c\\_img\\_gX\\_M/SMgB6.jpeg?fl=cro,0,0,1250,806%7Cres,1200,,1%7Cwebp,75](https://d39-a.sdn.cz/d_39/c_img_gX_M/SMgB6.jpeg?fl=cro,0,0,1250,806%7Cres,1200,,1%7Cwebp,75)
- [53] *Ústřední čistírna odpadních vod v Ostravě - Přívoze* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [http://www.ovak.cz/images\\_for\\_web/UCOV.jpg](http://www.ovak.cz/images_for_web/UCOV.jpg)
- [54] BROŽA, Vojtěch. *Vodohospodářské stavby*. Vyd. 3. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03175-6.
- [55] *Schéma úpravny vody s dvoustupňovou separací* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/173.tradicni-a-nove-technologie-upravy-vody>
- [56] *Blokové schéma technologické linky ČOV* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/biologie/botanika/studium/vybrane-predmety/diskusni-seminare-z-ekologie-obnovy-a-ekotoxikologie/stanislav-smrcek-3-12-2018/>
- [57] *Spotřeba elektrické energie jednotlivých procesů v ČOV* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/energie-odpadnich-vod-z-cov>
- [58] *Noční pohled na planetu Zemi z vesmíru* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/324350main\\_11\\_full.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/324350main_11_full.jpg)
- [59] *Schéma následků, příčin a nebezpečí ovlivňující vodohospodářství v případě blackoutu* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/nachhaltigkeit/pdf/mank-2015.pdf>
- [60] *ENERGETIKA VE SVĚTĚ* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete>
- [61] *Roční zpráva zpráva 2005* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2005.pdf/83a1be0a-5753-4173-b714-bdaa2d65f2c7](https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2005.pdf/83a1be0a-5753-4173-b714-bdaa2d65f2c7)



- [62] *Roční zpráva zpráva 2019* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc](https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc)
- [63] *Malá vodní elektrárna Spálov* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/72/Elekt%C3%A1rna\\_Sp%C3%A1lov\\_2010.jpg/1024px-Elekt%C3%A1rna\\_Sp%C3%A1lov\\_2010.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/72/Elekt%C3%A1rna_Sp%C3%A1lov_2010.jpg/1024px-Elekt%C3%A1rna_Sp%C3%A1lov_2010.jpg)
- [64] *Vhodné umístění regulačních armatur* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://ieeexplore.ieee.org/mediastore\\_new/IEEE/content/media/8766305/8777929/8778101/147-fig-1-source-large.gif](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8766305/8777929/8778101/147-fig-1-source-large.gif)
- [65] *Místa vhodná k umístění MVE* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://ieeexplore.ieee.org/mediastore\\_new/IEEE/content/media/8766305/8777929/8778101/147-fig-2-source-large.gif](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8766305/8777929/8778101/147-fig-2-source-large.gif)
- [66] *Vodní dílo Šance* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [http://www.stavbaroku.cz/db\\_image/site\\_large/12329.jpg](http://www.stavbaroku.cz/db_image/site_large/12329.jpg)
- [67] *Princip kogenerační jednotky* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://simonsboiler.com.au/wp-content/uploads/2019/09/Cogeneration-diagram-NEW--scaled.jpg>
- [68] *Saltend Wastewater Treatment Works* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://www.sweco.co.uk/siteassets/case\\_study\\_images/water\\_case\\_study\\_images/case\\_study\\_header\\_image\\_1580x480\\_saltend.png](https://www.sweco.co.uk/siteassets/case_study_images/water_case_study_images/case_study_header_image_1580x480_saltend.png)
- [69] *Atlantic County Utilities Authority Wastewater Treatment Facility* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://cached.imagescaler.hbpl.co.uk/resize/scaleWidth/882/cached.offlinehbpl.hbpl.co.uk/news/OPW/C26FFAB3-9020-6AAC-70DCC57A79A7E97E.jpg>
- [70] *Letecký pohled na ČOV v Ostravě Přívoze* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=18.2458264&y=49.8558853&z=16&l=0>
- [71] *Northern Gaza Emergency Sewage Treatment (NGEST)* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: [https://scontent-prg1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/31466647\\_861654297354767\\_6292295859379896320\\_n.png?nc\\_cat=106&ccb=1-3&nc\\_sid=e3f864&nc\\_ohc=WvnMLiHBjxoAX9ITn1V&nc\\_ht=scontent-prg1-1.xx&oh=eae035a761edc1c0c3fe00bd54b96504&oe=60816956](https://scontent-prg1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/31466647_861654297354767_6292295859379896320_n.png?nc_cat=106&ccb=1-3&nc_sid=e3f864&nc_ohc=WvnMLiHBjxoAX9ITn1V&nc_ht=scontent-prg1-1.xx&oh=eae035a761edc1c0c3fe00bd54b96504&oe=60816956)
- [72] *Princip palivového článku* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/docu/clanky/0169/016987o1.jpg>



- [73] *Plynojem s kapacitou 2 100 m3* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z:  
[https://biom.cz/upload/9dde8a86bc39c815ad93f4e52cbe3ebf/kajan\\_COV\\_Trebon\\_plynojem\\_Sattler.jpg](https://biom.cz/upload/9dde8a86bc39c815ad93f4e52cbe3ebf/kajan_COV_Trebon_plynojem_Sattler.jpg)